



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

DISEÑO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA ELABORACIÓN DE CERVEZA

Trabajo fin de grado



MAURO GISBERT VERDÚ

Universidad Politécnica de Valencia. Campus de Alcoy

1. Resumen.....	3
2. Introducción	3
2.1. Antecedentes historicos	6
2.2. Brewing	9
2.2.1. Germinación o malteado	10
2.2.2. Secado y tostado	11
2.2.3. Molturación o molienda	11
2.2.4. Maceración	12
2.2.5. Aspersión	15
2.2.6. Cocción o hervido	16
2.2.7. Enfriamiento	16
2.2.8. Fermentación	17
2.2.9. Terminación	20
2.2.10. Maduración y los procesos posteriores	21
2.2.11. Control de calidad	21
2.3. Ingredientes y Reactivos	23
2.3.1. Cereales cerveceros	23
2.3.2. Lúpulo	25
2.3.3. Levadura.....	26
2.3.4. Agua	28
2.3.5. Irish Moss	28
2.3.6. Otros	29
2.4. Objetivos	29
3. Metodología experimental.....	29
3.1. Equipamiento.....	29
3.2. Ingredientes y reactivos	32
3.3. Montaje.....	32

4.	Calculos y resultados.....	34
	4.1. Malteado de la cebada.....	34
	4.2. Secado y tostado de la cebada.....	35
	4.3. Molturación de la cebada	36
	4.4. Maceración de la malta.....	37
	4.5. Recirculacion y lavado del mosto.....	40
	4.6. Coccion del mosto.....	40
	4.7. Enfriamiento del mosto lupulado	41
	4.8. Fermentación principal	41
	4.8.1. Simulacion fermentacion.	42
	4.9. Terminación	46
	4.10. Control de calidad	46
5.	Escalado del proyecto a PLANTA PILOTO	48
	5.1. Escalado de los reactivos del proceso.....	48
	5.2. Escalado del equipamiento necesario	49
	5.3. Escalado de la energía del proceso.....	52
	5.4. Cuadro resumen de los precios de la planta piloto	53
6.	Escalado del proyecto a PLANTA INDUSTRIAL	54
	6.1. Presupuesto materia prima	54
	6.2. Presupuesto maquinaria.....	55
	6.3. Presupuesto inmobiliario.....	63
	6.4. Presupuesto global.....	64
	6.5. Honorarios	64
	6.7. Distribucion en planta.....	64
7.	Normativa y legislación	66
	7.1. La cerveza como producto.....	67
	7.2. Etiquetado de la cerveza.....	67
	7.3. Impuestos especiales de la cerveza.....	67
	7.4. Envases cerveceros	68
	7.5. La cerveza y el medio ambiente.....	68
	7.6. Seguridad e higiene.....	68
8.	Conclusiones.....	68
9.	Definicion de conceptos.....	71
10.	Bibliografía	72

1. RESUMEN

La cerveza es un producto que podemos encontrar en cualquier supermercado, pero para ello ha sido necesario una serie de procesos que van desde la germinación del cereal, pasando por su maceración (hidrólisis enzimática) hasta su cocción y su fermentación. Se trata de un proceso muy sensible y caracterizado por todos y cada uno de los ingredientes empleados, así como de la forma en la que se realicen sus procesos. Es por ello por lo que encontramos tanta variedad de cervezas en el mercado. En el siguiente proyecto intentaremos a partir de las experiencias realizadas, diseñar todo un proceso para la obtención de cerveza y además estudiaremos la viabilidad de pasar dicho proyecto del papel a la industria.

PALABRAS CLAVE

Cerveza
Cebada
Mosto
Levadura
Fermentación
Alcohol
Lúpulo
Brewing
Ensayo
Enzimas

2. INTRODUCCIÓN

Durante 8 000 años, la cerveza ha sido una bebida embriagante, a la que se le confieren propiedades beneficiosas para la salud, se ha convertido en una lucrativa fuente de impuestos y en un negocio de alcance globalizador [1]. Solo en los últimos años, debido a las guerras o la aprobación de leyes en su contra, experimentó un descenso de ventas, que en muchos casos provocó la pérdida de ciertas recetas especiales y diferentes a las que hoy se conocen. Pero se supo imponer y se ha convertido en una bebida para ser disfrutada y estudiada por derecho propio [2].

En la actualidad, no hay prácticamente ningún aspecto de la vida social del que se excluya tan popular bebida. La cerveza sigue siendo tan apasionante como de hecho lo ha sido siempre, por lo que vale la pena hablar y leer sobre ella; pensamientos como este han dado lugar a la ciencia de la cerveza, que comprende la ingeniería, la física, la química o la filosofía del proceso [3]. No es casualidad que ilustres figuras del panorama mundial, de ayer y de hoy se aventuren a expresar su amor por esta bebida fermentada.

- B. Franklin. *La cerveza es la prueba de que Dios quiere que seamos felices.*
- Platón. *Aquel que inventó la cerveza, era un hombre sabio* [4].
- E. Allan Poe. *¿Qué importa si el tiempo avanza, si hoy estoy tomándome una cerveza?*
- H. Simpson. *Cerveza, causa y a la vez solución de todos los problemas del mundo* [5].

La cerveza ha tomado tal relevancia dentro del mundo contemporáneo, que casi desde el pueblo más pequeño, a la ciudad más grande podemos encontrar una cerveza autóctona. A día de hoy se calcula que hay más de 10 000 cervecerías en todo el mundo que producen regularmente más de 60 000 marcas [6].

La gran variedad de cervezas existentes no deja ajenos a los amantes de la misma y aunque encontremos marcas que dominen a las otras (figura I) si se busca bien podemos encontrar aquella cerveza que más se ajuste a nuestros gustos y necesidades [7].



Figura I: Cerveza más consumida por país [8].

La definición de cerveza suele variar de un lugar a otro aunque siempre tiene aspectos comunes, tales como, que es una bebida alcohólica no destilada de sabor amargo que se fabrica generalmente con granos de cebada u otros cereales (arroz, sorgo...), a partir de los cuales, se obtiene el mosto, cuyos azúcares junto con el aroma y amargor característicos del lúpulo serán fermentados por medio de la acción de unos microorganismos, que nos proporcionaran una “protocerveza” que según las condiciones posteriores de criado y curado caracterizaran el flavor (olor y sabor) de nuestra cerveza [9].

Las variantes conocidas de la cerveza no solo se deben a los procesos post-fermentativos, las temperaturas de trabajo, los tiempos, los ingredientes o los aditivos empleados, son también responsables de la amplia gama de cervezas existentes. Su clasificación más tradicional se basa en el color (figura II), que puede tomar desde el convencional ámbar hasta el negro pasando por los marrones rojizos [10].



Figura II: Espectro cromático de las cervezas

Pero existen muchas otras clasificaciones, ya sea según su graduación alcohólica (figura III superior), según el tipo de espuma, según su sabor o su olor. Siendo la rueda del flavor (figura III inferior), basada en las condiciones organolépticas de la cerveza, una de las clasificaciones más precisas donde podemos encontrar compendiada toda la informan referente al sabor y el aroma de la cerveza [11].

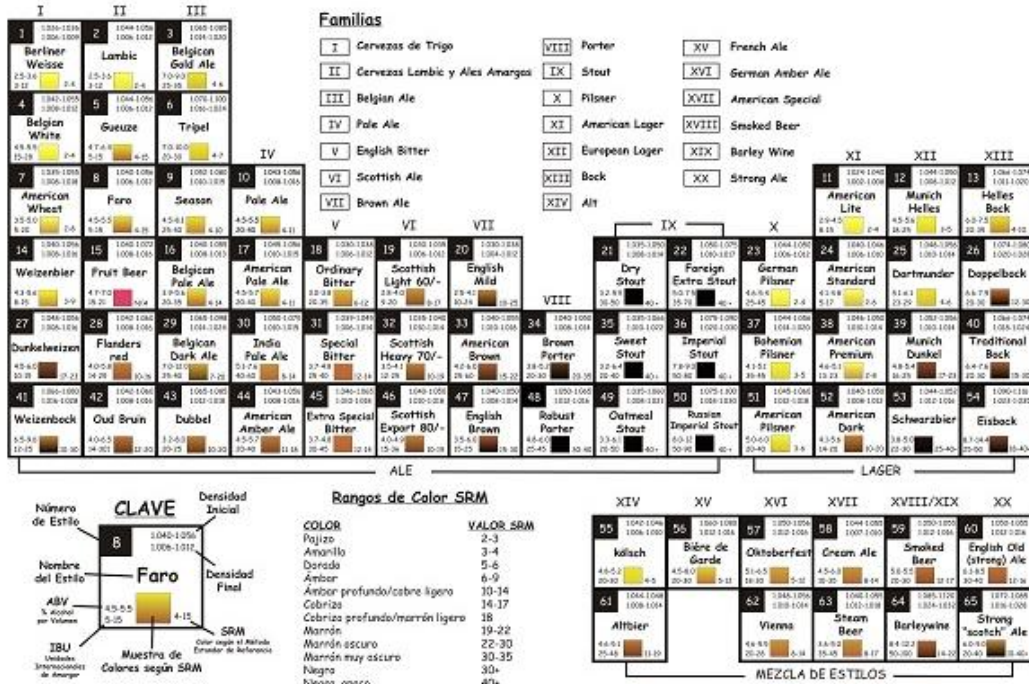


Figura III: Diferentes clasificaciones cerveceras. La rueda del flavor (superior) y la tabla periódica (inferior)

Su graduación alcohólica puede alcanzar cerca de los 30 % en volumen, aunque las cervezas más populares suelen tener una graduación comprendida entre los 3 % y los 9 % vol. Es una bebida gaseosa por el CO₂ disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente. Este gas se produce durante la reacción de fermentación, pero en algunos casos no alcanza los niveles adecuados, por lo que debe ser inyectado de forma artificial. Es este gas, el que forma la identificativa espuma de la cerveza [12].

El arte de fabricar cerveza (o *brewing*) se ha ido perfeccionado en los últimos años. Todas sus variantes en la producción, así como de producto han ido cambiando con el avance de la ciencia y la tecnología, las cuales han ido introduciendo mejoras que nos han llevado a lo que hoy por hoy conocemos como cerveza (figura IV) [13].



Figura IV: Jarra de cerveza donde apreciamos la espuma y su característico color ambarino.

En el sentido más general, el anglicismo *brewing* puede definirse como: el conjunto de procesos combinados para preparar cerveza, a partir de la infusión de granos germinados y la posterior fermentación de la solución azucarada en la que una parte de los glúcidos simples (azúcares fermentables) es convertida en etanol y otra en dióxido de carbono (CO₂) [14].

2.1. ANTECEDENTES HISTORICOS

La cerveza tal y como la entendemos hoy por hoy, nació hace unas pocas décadas, pero sus principios básicos y la base de lo que surgió se remonta a hace siglos. Por la estructura de los cultivos plantados por los habitantes de Mesopotamia se puede inferir, que quizá, ya se producía una especie de cerveza hacia el 9 000 a.C., aunque las pruebas directas más antiguas proceden de los restos cerámicos encontrados en la provincia de Hunan, en China, datados 2 000 años más tarde. Se han encontrado evidencias históricas de la cerveza en las antiguas civilizaciones de los elamitas, los egipcios y los sumerios.

Según la receta escrita más antigua encontrada, el Papiro de Zósimo de Panópolis (s. III A.C.), los egipcios elaboraban la cerveza a partir de panes de cebada poco cocidos que dejaban fermentar en agua de cuya mezcla obtenían el *zythum*, que hoy por hoy ya que no entraría en nuestros estándares de que entendemos por cerveza [15].

Paralelamente, en Oriente se usaba arroz o bambú en procesos fermentativos similares. La cerveza propiamente dicha, aparece en Europa en el siglo XIII, en la medida en que el concepto de cerveza incluye el amargor lupulado característico. Atribuir un origen muy antiguo a la cerveza se condiciona bajo el rasero de lo que hoy por hoy conoceríamos o entenderíamos por cerveza. Pero, los procesos de fabricación si eran muy similares, es decir, quizá la cerveza no sea tan antigua, pero su principal etapa, la fermentación alcohólica, si lo sea, tanto como los persas o los babilonios [16].

El mayor problema que tenían los antiguos cerveceros era la conservación. El contacto con el aire convertía el alcohol en nauseabundos aldehídos y agrios ácidos orgánicos que llevaban a la cerveza a ser desechada a los pocos días de haberse producido [92].

Los cerveceros intentaban retardar este proceso utilizando mezclas de hierbas denominadas '*grut*' cuyas propiedades antioxidantes hacían más longeva la vida de las cervezas por aquel entonces. La posibilidad de conservación de la cerveza se debe no tanto a la invención de las neveras eléctricas, sino al empleo de conservantes muchos de los cuales se descubrió que incorporaba el propio lúpulo. Además de la posibilidad de elaborar a gran escala y conservar en envases herméticamente cerrados [17].

Las botellas industriales hechas en serie aparecen durante el siglo XIX. Antes se fabricaban a soplete, lo cual era mucho más laborioso y limitaba el número de las mismas. La cerveza enlatada comienza en 1933 en Estados Unidos, tras la abolición de la ley seca, donde el empleo de barriles de madera para la cerveza entra en franca decadencia, con lo que se empiezan a buscar alternativas tanto de conservación como de venta, baratas y agradables para el consumidor [18].

No se puede hablar de una verdadera industria cervecera hasta el siglo XIX, cuando empiezan a aparecer pequeñas y medianas empresas. La revolución industrial permitió elaborar cerveza en cantidades aún mayores, y la era del vapor, a su vez hizo posible el transporte rápido por tierra y mar, lo que facilitó que la misma cerveza estuviera disponible incluso en ultramar [19].

La primera gran fábrica de cerveza española fue abierta en 1864 por el alsaciano Louis Moritz en Barcelona. A la cual siguieron marcas muy conocidas actualmente como: Mahou (1890), Cruzcampo (1904) o Estrella Galicia (1906). Pero, no se puede entender el porqué de la cerveza, sin hablar de los conocidos como, padres de la misma y con los cuales comenzó a definirse ya el concepto moderno de cerveza [20].

Son muchos los científicos que han hecho su contribución a este proceso, e incluso, en muchas ocasiones, se han valido de él, para desarrollar sus propios experimentos y teorías. Entre los más destacados podemos mencionar a: Robert Boyle y a Louis Pasteur.

El francés R. Boyle (figura V), está considerado como el padre de la química moderna, en su *'Essay on the Pathological Part of Physics'* afirmaba que *"quien conociera profundamente la naturaleza de la fermentación, estaría mucho más capacitado para ofrecer una mejor descripción de varias enfermedades... que quizá nunca serian debidamente comprendidas sin una introducción en la teoría de las fermentaciones"*. Dicha afirmación se sitúa alrededor de un par de siglos antes de los estudios de otro de los conocidos como padre de esta bebida fermentada, el también francés, L. Pasteur.



Figura V: R. Boyle
1627 - 1691

Había una época en la que la producción de cerveza iba muy ligada a la investigación científica. Corría el último tercio del siglo XIX y el químico francés L. Pasteur (figura VI) identificó el comportamiento de la levadura *lager* (de baja fermentación). Pasteur demostró que la levadura era un ser vivo, que no se originaba espontáneamente, tal y como se pensaba, sino que además, explicó el proceso de formación del alcohol durante la fermentación del mosto.



Figura VI: Louis Pasteur.
1822 – 1895

También demostró que la cerveza se estropeaba por la acción de unas bacterias que crecían junto a la levadura y desarrolló un método de calentamiento ligero para la cerveza, que las destruía. Había logrado alargar la conservación de la cerveza por lo que consiguió prolongar el tiempo de consumo, convirtiéndola de un producto estacional a uno atemporal [21].

Otros a los cuales se les debe el estado actual de la cerveza son: Anton van Leeuwenhoek, Richard Warrington, Connor O'Sullivan o Henry Brown [22].

2.2. BREWING

El proceso cervecero siempre consta de una serie de pasos, que en general no deben variar, pero sus variaciones, en esencia aportaran los diferentes matices de nuestra cerveza tales como [23]:

1. GERMINACIÓN.

Proceso por el que se incita al grano a germinar lo cual supone la preparación de los enzimas necesarios en los posteriores procesos.

2. SECADO Y TOSTADO

Proceso por el que se elimina toda el agua posible si se desea almacenar y que además sirve para dotar al grano de ciertas propiedades organolépticas que distinguirán la cerveza final.

3. MOLIENDA.

Proceso que facilita el acceso de las enzimas a las reservas de glúcidos contenidas en el interior de los granos.

4. MACERACIÓN.

Proceso por el cual los enzimas promovidos por la temperatura y el pH del agua hidrolizan el almidón de los granos.

5. COCCIÓN.

Proceso por el cual se añade el característico sabor amargo de la cerveza además de asegurar un medio aséptico donde solo se encuentre la levadura que posteriormente se inoculará.

6. FERMENTACIÓN.

Proceso por el cual la levadura convierte los glúcidos primarios en etanol y dióxido de carbono.

7. TERMINACIÓN

Es el conjunto de procesos llevados a cabo tras la fermentación con el fin de caracterizar a la cerveza, entre los que se destacan la filtración, la carbonatación o el afinamiento del sabor.

Estos apartados serán analizados detalladamente a continuación. Además, se mencionarán las diferencias entre el trabajo industrial y el artesanal en cada uno de ellos.

2.2.1. GERMINACIÓN O MALTEADO

La germinación es el proceso a través del cual los granos desarrollan los enzimas necesarios para el posterior proceso de maceración. Para ello, necesitan tener un grado de humedad próximo al 45% [24] lo cual se consigue sometiendo a las semillas a procesos de remojo; con agua a 16 °C [25] y a los procesos de drenado; en los cuales se deja el grano al aire, minimizando los posibles cambios bruscos de temperatura [26]. Alternando la exposición al aire y agua se evita que los granos consuman todo el oxígeno del agua de remojo con lo que detendrían su proceso de germinación, con lo cual no se formarían los enzimas [27]. Y además se minimizan los focos térmicos que producen los propios granos durante su actividad metabólica

Industrialmente se puede llevar el proceso sobre el suelo de grandes almacenes y se va regando el grano con agua y se va removiendo con palas o rastrillos (figura VII dcha.) con el objetivo de que los granos inferiores no acumulen todo el calor desprendido durante la aparición de la raicilla [28]. En las industrias más modernas se recurre a germinadores de torre (figura VII izqda.) que reaprovechan el agua y el calor de cada una de las etapas de forma muy eficiente [29]. Por el contrario, si se disponen de pocos medios, poco espacio y el proceso se va a llevar a cabo a pequeña escala, bastará con una cuba donde se dejarán las semillas sumergidas unas 8 h y en aireación durante unas 12 horas [30].

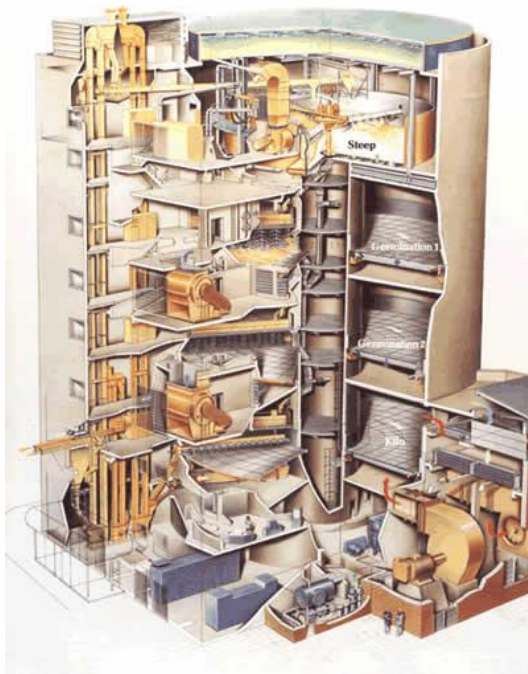


Figura VII: Sistemas para la germinación del grano: en torre (izqda.) y de silo y rastrillo (dcha.)

2.2.2. SECADO Y TOSTADO

Las semillas germinadas o malta son transportadas hasta el molino. La molienda puede ser seca o húmeda [31]. Se recurre al secado para eliminar la mayor cantidad de agua de los granos consiguiéndose así una humedad próxima al 5 % esto sirve para prolongar los tiempos de almacenado del grano si no se va a moler inmediatamente después de germinar. Asimismo, el tostado también es empleado para reducir la cantidad de agua de los granos pero a la vez que se le da una cierta tonalidad al grano que puede ir desde su color original hasta un color marrón oscuro, el objetivo que se persigue con el tostado es otorgar sabores diferentes a los granos, lo cual posteriormente dará una cerveza con un sabor más amargo y/o un color más oscuro.

2.2.3. MOLTURACION O MOLIENDA

La finalidad de la molienda es la producción de partículas de pequeño tamaño que puedan ser rápidamente atacadas por los enzimas en la cuba de maceración. La molienda ideal podría resumirse como:

- No deben quedar granos sin moler.
- La mayoría de las cascarillas deben partirse de extremo a extremo.
- El endospermo (reservas de almidón) debe quedar libre de la cascarilla.
- Homogeneizar el tamaño del endospermo.
- Minimizar la cantidad (<10 %) de harina [32].

Industrialmente se emplean los molinos de rodillos ajustables (figura VI) [33].



Figura VIII: Molino de cebada con rodillos ajustables.

Existen alternativas caseras como la utilización de morteros, batidoras, molinillos de café o como último recurso se puede colocar el grano dentro de una bolsa y golpearlo enérgica y repetidamente contra el suelo [34].

2.2.4. MACERACION

En la maceración, los cereales, se introducen en una cuba, a los cuales se les añade agua previamente acidificada hasta un pH de 5.5. La cantidad de agua se basa en una relación de tres litros de agua por kilo de cereales. Esta mezcla remueve hasta que se forma una pasta consistente.

El proceso más simple es precalentar el agua hasta los 70 °C temperatura que descenderá hasta los 65 °C (temperatura de trabajo óptimo de los enzimas) al introducir el grano, el cual se deja durante una hora y media o dos horas según si quedase o no almidón en el mosto [35].

Los enzimas son los responsables del hidrolisis de los azúcares contenidos en el grano. Se trata de biocatalizadores que encuentran su actividad favorecida a determinadas temperaturas, en este caso, y para las enzimas de interés los rangos están comprendidos entre 55 y 68 °C de modo que, para la realización de la mejor maceración, es decir, aquella que asegure la máxima conversión en glúcidos fermentables, se trabaja en estos márgenes de temperaturas [36].

Los perfiles térmicos del macerado deben escogerse en función del material a utilizar, así como, de las propiedades de la cerveza a producir o en función de la actividad enzimática que se desee priorizar [37].

Industrialmente, los procesos de malteado son largos y su único fin es la generación de enzimas, por esta razón muchas empresas emplean enzimas ajenas al grano que son inoculadas al inicio de la maceración, con lo que tiempo total del proceso se ve reducido lo cual se traduce en mayores producciones y en menores tiempos, lo cual supone mayores beneficios.

Los principales enzimas del proceso los podemos encontrar la tabla IV donde se facilitan los nombres comunes de las enzimas, así como, su código por el que son conocidas internacionalmente [37]:

Tabla I: Principales enzimas del proceso para la elaboración de cerveza.

ENZIMA	CODIGO	OTROS NOMBRES
α -amilasa bacteriana α -amilasa fúngica	2.4.2.n2 1.1.99.13	D-aldohexopyranosidedehydrogenase Glucosidexylosyltransferase
Amilo glucosidasa	3.2.1.3	Amylo-(1,4 to 1,6)transglucosidase
Pululasana	3.2.1.41	α -dextrin endo-1,6- α -glucosidase
β -glucanasa bacteriana β -glucanasa fúngica	3.2.1.6	β -glucosidekinase
Xilanasa	3.2.1.8	Endo-1,4- β -xylanase
Proteasas neutras	3.4.21.12	α -lyticendopeptidase
α -acetatodescarboxilasa	4.1.1.4	ALDC

La alfa amilasa, la amilo glucosidasa y la pululanasa son enzimas cuya función es transformar los azúcares pesados (almidón) en glucosa y otros azúcares fermentables. Los efectos de la beta glucanasa y de la xilanasas se aprecian en las propiedades físicas del producto final, ya que hidrolizan los coloides que se encuentran en el fluido reduciendo así su viscosidad.

Las proteasas afectan directamente al proceso productivo y se emplean para controlar la captación del nitrógeno de los aminoácidos por parte de la levadura, es decir, que controlan el crecimiento de la biomasa. Y, por último, el ALDC que acelera el proceso de maduración de la cerveza verde [38].

Los parámetros cinéticos de las enzimas es una información muy valiosa para la industria bioquímica, pero pueden conocerse de forma muy aproximada si se plantean una serie de ensayos en los que, fijando la cantidad de sustrato y de enzima, con lo cual, midiendo el tiempo de reacción y analizando los productos con un espectrofotómetro o con un HPLC se determinarían dichos parámetros [39].

Los enzimas como la mayoría de las proteínas, son muy sensibles a los cambios de temperatura y a los de pH, condiciones que pueden llegar a desnaturalizarlas haciendo que pierdan sus propiedades conformacionales y por tanto que dejen de participar en las actividades metabólicas pertinentes [40].

El régimen de trabajo varía según la cerveza a producir o según las enzimas de interés por ello encontramos diferentes vías macerativas. Existen variantes a la infusión simple, en las que se lleva a cabo el proceso mediante rampas de temperatura figura V).

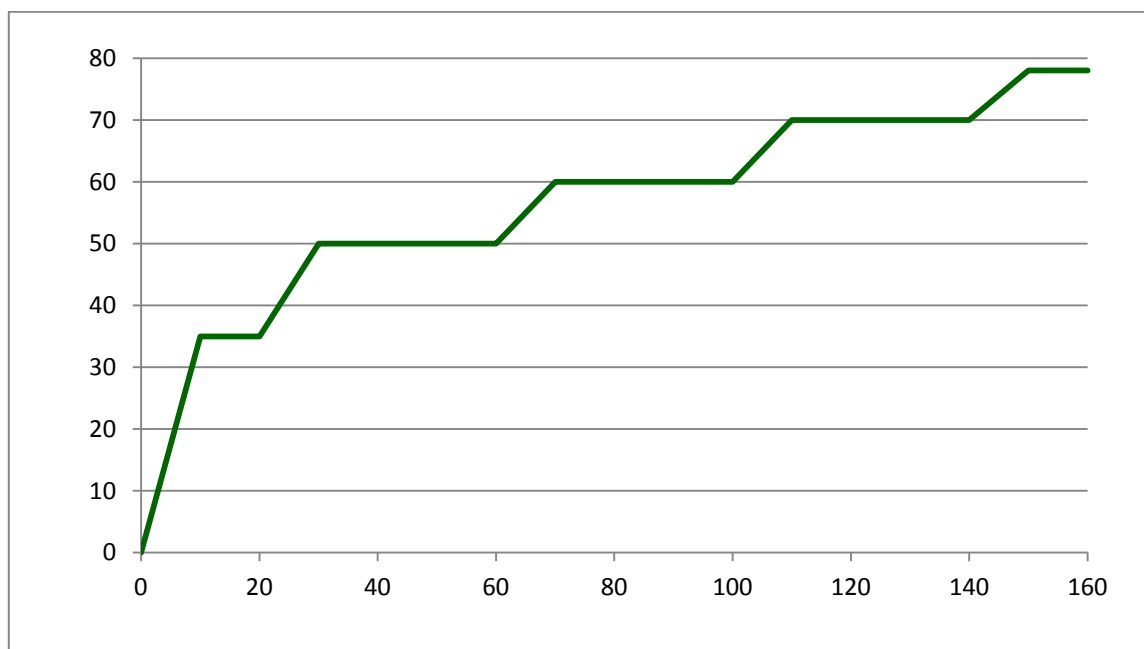


Figura IX: Maceración por rampas (izq.) y por decocción (dcha.) como alternativas a la infusión simple

Mediante las rampas de temperatura se favorecen las diferentes enzimas que intervienen en el proceso ya que cada una de ellas ve incrementada su actividad metabólica dentro de unos rangos muy concretos de temperatura, de esta forma, alargando en el tiempo de alguna de las rampas se dota a la cerveza de características especiales. [41].

Ha tenerse especial precaución con la selección o la elaboración de los agujeros de la cuba o el plato ya que hemos de evitar que los granos se puedan colar a través de ellos, además debemos asegurar una selección del material sea acorde a nuestras características de procesado ya que debe resistir temperaturas moderadamente altas y medios acidos. De modo que se recomienda utilizar acero inoxidable siempre y cuando se disponga de los medios económicos necesarios.

Lo más importante es mantener la temperatura el tiempo pertinente, lo cual supone recurrir a aislamientos efectivos ya que calentamiento prolongado supondrá la caramelización de la malta. Los sistemas alternativos a las cubas de acero utilizadas en la industria pueden ser (figura X):

- i. El doble cubo que separara las dos fases de la maceración.
- ii. El “plato falso” que actuara a modo de colador.
- iii. Un cubo con una red de tela o acero.



Figura X: Sistemas de maceración alternativos.

Industrialmente no valen este tipo de alternativas y siempre se debe trabajar con equipos de acero inoxidable en los que el sistema de drenado suele ser casi siempre el del plato falso (figura X). Además, al tratarse de calderas que superan de media el metro cubico se trabaja con resistencias eléctricas que mantendrán la temperatura de trabajo [42].

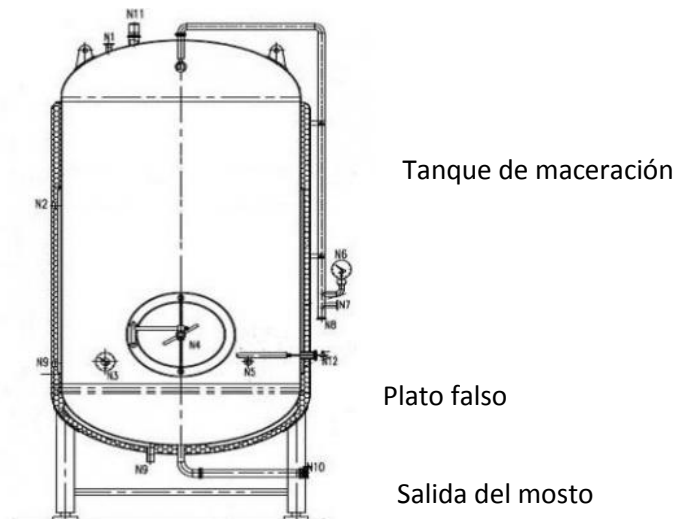


Figura XI: Esquema de un tanque de maceración industrial

2.2.5. ASPERSIÓN

El objetivo de este proceso, es recircular el mosto varias veces a través del grano, de esta forma se consigue arrastrar cualquier traza de glucidos que pueda haber quedado retenida en el grano a la vez que se va clarificando el mosto [43]. Posteriormente se repite el proceso, con agua caliente (70 °C) de esta forma se maximiza la concentración de azúcares en el extracto. Ha de tenerse la precaución de no usar agua demasiado caliente, nunca mayor a los 80 °C, para no extraer sustancias perjudiciales para el sabor de la cerveza como dextrinas o taninos [44].



Figura XII: Aspersion del mosto sobre el lecho de granos

La aspersion se suele realizar con canalizaciones de acero perforadas o con aspersores industriales, aunque se puede improvisar con piezas de ducha y/o de jardinería [45].

2.2.6. COCCIÓN O HERVIDO

Una vez tenemos el mosto, un líquido dulce, de color caramelo (aunque dependerá del grado de tostado del grano y del tiempo de aspersión) se procederá con una cocción, donde haremos que la mezcla hierva 90 minutos, durante los cuales se añadirá el lúpulo y el *Irish Moss*. Para la cocción se puede inocular el lúpulo directamente sobre el mosto y luego filtrarlo o añadirlo mediante recipientes de acero inoxidable perforado o con sacos de tela, tal y como podemos ver en la siguiente figura.



Figura XIII: Sistemas para la elaboración del hervido del mosto

Con el hervido se consigue [46]:

- i. Esterilizar del mosto (agentes patógenos).
- ii. Detener toda actividad enzimática remanente.
- iii. Destrucción de las proteínas de gran tamaño (turbidez).
- iv. Aumentar la concentración de azúcares (10% mayor) [47].
- v. Coagulación de los taninos extraídos.
- vi. Aportar el sabor amargo al mosto.
- vii. Intensificación del color [48].

2.2.7. ENFRIAMIENTO

El enfriamiento del mosto se lleva a cabo por un sistema de refrigeración que consiste en un intercambiador de hélice por el que fluye agua a 20 °C en el caso de las levaduras *ale* o a 8°C si se va a utilizar una *lager* [49]. Una vez la disolución alcance el valor deseado, ya se podrá inocular la levadura sin peligro, puesto que de ser una temperatura superior a la indicada se corre el riesgo de matar a la cepa con lo que no se producirá fermentación [50].

El sistema más empleado industrialmente es el del serpentín de acero inoxidable (figura XIV) a través del cual se hace circular una corriente de agua fría o en el caso de las empresas más grandes, se recurre a gases como el nitrógeno líquido. Su alternativa son los tanques con camisa, pero el funcionamiento es el mismo [51].

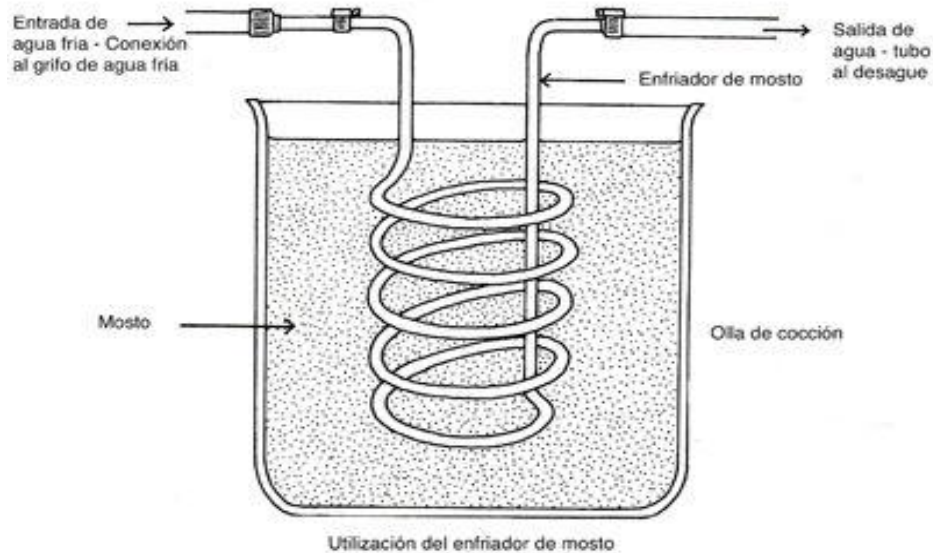


Figura XIV: Sistema de enfriamiento de mosto

2.2.8. FERMENTACIÓN

El mosto una vez enfriado es apto para comenzar la etapa de fermentación. Aunque la cantidad de levadura inicial sea un valor propio de cada empresa, la variación en el inóculo hará que el resultado final variara enormemente, puesto que si la cantidad inicial es insuficiente se produce una fermentación inicial lenta que alarga el proceso, con las consecuentes repercusiones económicas que esto supondrá [52].

Por otro lado, un exceso de levadura en la siembra supondrá una competición por los nutrientes, lo que suele producir un desarrollo de la biomasa pobre y favorece la aparición de esterres, que producen mal sabor en la cerveza [53].

Durante la fermentación se genera una gran cantidad de calor que puede llevar al metabolismo de las levaduras a la generación de subproductos indeseables; además de existir riesgo de infección. Para la evacuación del calor se emplean generalmente, intercambiadores de hélice por los que fluye agua a la temperatura que precisa la levadura.

La fermentación *lager* requiere ambientes especialmente fríos, por lo que en muchas fábricas instalan estos tanques, en sótanos o cualquier otro lugar fresco y sin humedad para mantener estable la baja temperatura del proceso. Si no es posible, el intercambiador de calor constará de una camisa por la que fluirá nitrógeno, agua o incluso gases (figura XV) [54].

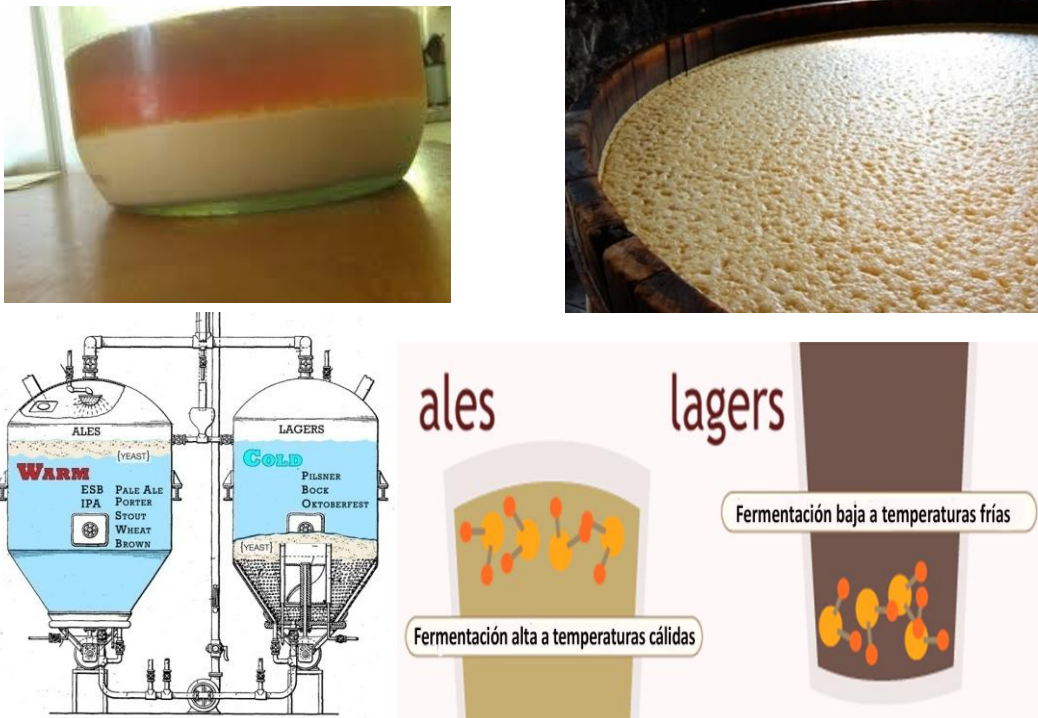
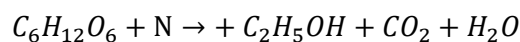


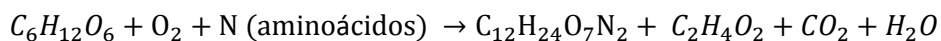
Figura XV: Ejemplos de fermentación alta en el tanque (superior derecha) o baja (superior izquierda)

La fermentación en realidad es muy compleja, ya que se compone de, aproximadamente, de unas 2000 reacciones químicas. Para el correcto ajuste de la reacción, debemos tener en cuenta que las relaciones entre los productos y los reactivos son valores celosamente salvaguardados por las industrias cerveceras.

De modo que la reacción básica (simplificada) quedaría de la siguiente forma:



Ha de tenerse en cuenta que, aunque la levadura produce el etanol en condiciones anaerobias; al trasvasar el mosto al fermentador se añade una porción de aire cuyo oxígeno aunque esencial para que las células sinteticen esteroides y ácidos grasos insaturados; compuestos que forman las membranas celulares y por tanto completamente necesarias durante la fase de crecimiento de la biomasa; también puede llegar a producir ácido acético que dota a la cerveza de un olor y un sabor desagradable, tal y como queda reflejado en la siguiente reacción [55]:



Las primeras fermentaciones de las que se tiene constancia, se realizaban en discontinuo y se realizan en recipientes metálicos o de piedra. Industrialmente siempre se trabaja con fermentadores de acero inoxidable cuyo diseño ha sufrido algunos cambios desde su origen, todos ellos destinados a la mejora del proceso, hasta que se ha llegado a la producción de cerveza en continuo.

Independientemente de la forma, las principales características con las que debe contar este tipo de equipamiento son que tenga el fondo plano, una salida para la extracción de la cerveza y alguna forma de refrigeración para mantener la temperatura (figura XVI).

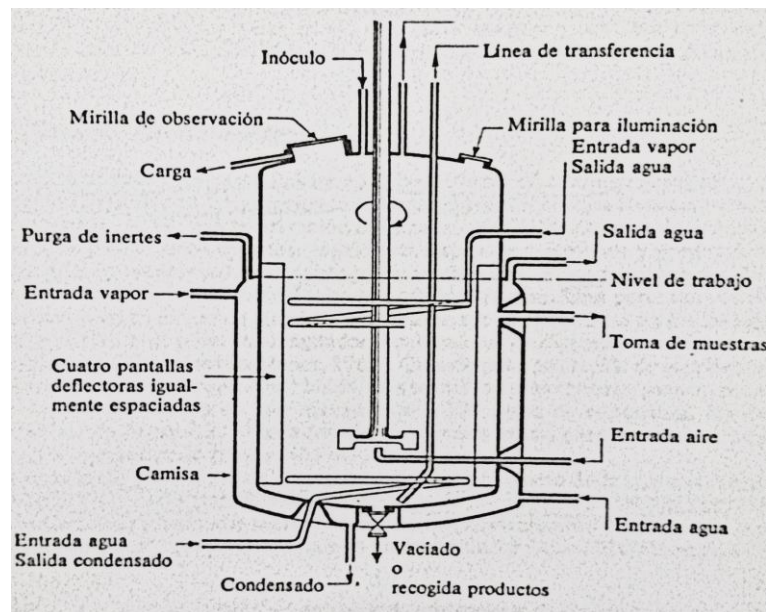


Figura XVI: Esquema de las partes de un fermentador

Artesanalmente la fermentación se lleva a cabo en una cuba con una tapa hermética a la que se le añade la trampa de aire ('airlock'). Un recurso frecuentemente utilizado son las damajuanas de vidrio o de plástico (figura XVII), que permiten observar que está ocurriendo en su interior, siempre y cuando se asegure mantener el régimen de temperaturas del proceso.



Figura XVII: Ejemplos de damajuana de vidrio (izquierda y centro) y plástico (derecha).

Una vez transcurridos los 4-5 días para las *Ale* o los 7-8 días de la *lager*, la cerveza debe completar una serie de pasos hasta su terminación. El primero de ellos es, su segunda fermentación, para ello se elimina la biomasa generada durante la primera fermentación y se hace un nuevo inóculo con levadura fresca. De esta forma se consigue un mejor producto, ya que la levadura elimina la mayoría de las sustancias perjudiciales formadas durante la primera fermentación. Esta segunda fermentación puede llevarse a cabo en un segundo reactor idéntico al primero, en otra damajuana o, como es el caso de algunas cervezas, incluso dentro de la propia botella que será la que le llegue al consumidor [56].

2.2.9. TERMINACIÓN

Cuando la cerveza ya ha alcanzado un grado de fermentación adecuado se la transfiere a la cuba de maduración, donde, a la temperatura adecuada –según el estilo- la cerveza madura y produce mayor volumen de gas carbónico. Los procesos que se incluyen en la terminación son [57]:

A. El afinamiento del flavor, que supone la eliminación, por parte de la levadura, de la máxima cantidad de productos indeseables que se hayan podido formar destacando entre ellos los compuestos sulfurados, así como del acetaldehído y del diacetilo. Se trata de un proceso metabólico lento, que recibe el nombre de purga [58].

B. La clarificación de la cerveza, la cual contiene una gran cantidad de células de levadura, por lo que es necesario reducir su número, para evitar cualquier posible problema sanitario o de aspecto final. La forma de clarificar la cerveza reside en un almacenado estático para facilitar la eliminación del excedente de levadura, por medio de la sedimentación. La eliminación no debe prematura o la cerveza perderá cualidades [59].

C. Como se necesita que el producto tenga una vida útil prolongada, y además se debe asegurar que el producto no cambie una vez salga de la fábrica, a esta etapa se la conoce como estabilización. Uno de los mayores problemas es la turbidez del producto. El material responsable de esta turbidez precipita junto con la levadura durante el estacionamiento a baja temperatura y podemos diferenciar dos tipos de turbidez [60]:

a. En frío, es el descenso en la claridad de la cerveza que se debe a los enlaces entre proteínas, taninos y/o carbohidratos, enlaces débiles (van der Waals y dipolo-dipolo) se ven fortalecidos con el descenso de la temperatura [61].

b. Permanente en este caso son los enlaces químicos (entre proteínas y taninos). Se trata de enlaces fijos y que no se ven afectados por la temperatura (puentes de hidrogeno) de modo que otorgan una turbidez a la cerveza que difícilmente se verá afectada por mucho que se haga [62].

D. Aunque el CO₂ se forme de manera natural en la reacción de fermentación, en muchas ocasiones su concentración final no es suficiente por lo que se recurre a una carbonatación forzada, donde se inyecta artificialmente el dióxido [63].

2.2.10. MADURACIÓN Y LOS PROCESOS POSTERIORES

La maduración del producto es una parte esencial en el proceso ya que asegura el afinamiento de los sabores y los olores de la cerveza. Cuanto más tiempo se tenga en maduración mayores matices tendrá nuestra cerveza [64].

Las mejores cervezas se almacenan en barriles cuya fabricación puede ir desde el acero hasta cualquiera de las maderas existentes. Generalmente la maduración dura desde las 2 semanas hasta los 6 meses posteriores a la fermentación, aunque existen cervezas con tiempos de residencia mucho mayores [65].

El proceso llevado a cabo artesanalmente es básicamente el mismo solo varían los recipientes en los que se realicen las diferentes operaciones del proceso [66].

2.2.11. CONTROL DE CALIDAD

Un aspecto importante a tener en cuenta para los cerveceros es cómo mantener la calidad de la cerveza. Por esto es que es especialmente importante que el producto sea consistente, es decir que las distintas cargas o lotes de producto sean lo más parecidas, entre sí, que sea posible, de forma que, si un cliente prueba una cerveza determinada y le gusta, cuando vuelva a tomarla de nuevo, vuelva a encontrar esa cerveza y no otra diferente. Para poder lograr esto, se trabaja con 3 aspectos críticos de calidad [67].

- Físicoquímica
- Microbiológica
- Sensorial

Para ello se deben llevar a cabo minuciosos registros de las condiciones de las cocciones, fermentaciones, envasados... Estos registros van a tener que influir de una forma u otra en los tiempos, temperaturas, materias primas y sus cantidades.

Los controles influyen directamente sobre el producto final, las empresas analizan [68]:

Tabla II: Control de calidad empleado tras cada una de las partes del *brewing*.

	Macerado	Filtrado	Enfriamiento	Levadura	Fermentación	Cerveza
pH						
Densidad						
Temperatura						
Test forzado del mosto						
Tinción de yodo						
Espectrofotometría						
Recuento celular						
CO ₂						
Análisis sensorial						
Vida útil						

Un comentario aparte merece el tema de evaluación sensorial. Para prácticamente la totalidad de las cervecerías medianas y/o pequeñas, el análisis sensorial será la herramienta de análisis más poderosa a su alcance. Mediante ella, contando por supuesto con el entrenamiento adecuado, se podrían detectar compuestos en concentraciones, que por pequeñas que sean (ppm), serían detectables por el maestro cervecero [69].

El test forzado del mosto se utiliza para tener una idea de la calidad microbiológica del en frío. Otra posibilidad en el análisis de la levadura, es el conteo donde se añade una pequeña cantidad de levadura en una rejilla y se cuenta el número de individuos que hay en un cuadro de esta forma se puede suponer cuantos individuos habrá en toda la rejilla y por ende, en toda la colonia de levadura [70].

En cuanto a otros aspectos y características de la cerveza, varias asociaciones establecieron, unos patrones para que la cerveza no tenga ningún problema de salubridad. Los parámetros a cumplir por cualquier cerveza son [71]:

Tabla III: Parámetros de la cerveza.

	COMPUESTO	CONCENTRACIÓN MÁXIMA	Unidades
BIOLOGICO	Coliformes totales	10	u./100mL
	Coliformes fecales	0	u./100mL
	Estreptococos fecales	0	u./100mL
	Clostridios sulfito reductores	1	u./20mL
TÓXICOS QUÍMICOS	Arsénico	50	µg/L
	Cadmio	5	µg/L
	Cianuro	50	µg/L
	Cromo	50	µg/L
	Mercurio	1	µg/L
	Níquel	50	µg/L
	Plomo	10	µg/L
	Antimonio	10	µg/L
	Selenio	10	µg/L
	Pesticidas y sus derivados	0.1	µg/L
	Hidrocarburos aromáticos	0.5	µg/L
	Trihalometanos	0.2	µg/L

PARÁMETROS DE CALIDAD	Sulfato	100	mg/L
	Magnesio	250	mg/L
	Sodio	50	mg/L
	Potasio	150	mg/L
	Nitratos	12	mg/L
	Nitritos	50	mg/L
	Amonio	0.1	mg/L
	Hidrocarburos	0.5	mg/L
	Fenoles	10	mg/L
	Surfactantes	0.5	mg/L
	Aluminio	200	mg/L
	Hierro	200	mg/L
	Manganeso	200	mg/L
	Cobre	50	mg/L
	Zinc	3000	mg/L
	Fosforo	5000	mg/L
	Flúor	2200	mg/L
Plata	10	mg/L	

2.3. INGREDIENTES Y REACTIVOS

Una vez establecido como producir cerveza, necesitamos hablar de qué es necesario para producirla [72].

2.3.1. CEREALES CERVECEROS

Se puede fabricar cerveza a partir de una gran variedad de cereales tales como:

A. TRIGO. Es la cosecha más cultivada mundialmente y se utiliza como adjunto en la industria cervecera. El trigo dota a la cerveza de una mayor turbidez, lo cual se debe a que los granos de trigo no tienen cáscara, por lo cual no habrá lecho filtrante para el *sparging* por lo que el mosto, y la cerveza final serán más turbios que sus homólogos, además al no tener cascara, significa que el grano tendrá aproximadamente un 8 % más de almidón que la cebada (en igualdad de peso de los granos), por lo que suelen alcanzarse niveles de extracto mayores.

B. ARROZ. Como el trigo, el arroz no tiene cascara. La temperatura de gelatinación del almidón, es más elevada que el del trigo o la cebada (70 °C – 80 °C), por lo que hay que cocerlo antes de la maceración para licuar el almidón. Los granos de arroz contienen, en base al peso seco, mayor porcentaje de almidón que la cebada o el trigo, aunque por otro lado menos fibra, lípidos y proteínas, propiedades beneficiosas para la elaboración de la cerveza.

C. SORGO. Es el principal cultivo de las zonas áridas del mundo. Se ha empleado para producir una gran diversidad de cervezas africanas. Se trata de una semilla sin cascara con alto nivel proteico lo cual supone la obtención de cervezas poco claras. La estructura del almidón es similar a la del maíz. Las pérdidas en el malteado son muy elevadas (30 %) debido al limitado rango de temperaturas a las que debe hacerse el proceso (entre 24 °C y 26 °C). El sorgo es particularmente propenso a infecciones fúngicas.

D. AVENA. Su grano contiene altos niveles de lípidos y proteínas. Aunque hoy en día, es raro que este cereal se destine a la producción cervecera fue muy usado durante la Segunda Guerra Mundial a falta de una alternativa mejor. La estructura de su almidón es muy granular, como el del arroz, pero su temperatura de gelatinación es más baja (55 °C – 60 °C). El grano posee una cáscara fibrosa útil en la aspersion del mosto.

E. CENTENO. Actualmente se usa muy poco para elaborar cerveza, pero sí se emplea para hacer whisky y pan. Destaca como cereal en la cerveza por los aromas que aporta.

F. MAÍZ. El almidón del maíz tiene una elevada temperatura de gelatinación, por lo que su pre-cocción es esencial para su disolución. Aunque contiene un alto porcentaje de almidón (72 %) también contiene una alta fracción de lípidos (4 – 5 %), que por lo tanto deberán ser eliminados, antes de usar el maíz en cervecería [73 y 74].

No existe una morfología común para los granos cerveceros (figura XVIII) solo es necesario que posean una abundante reserva de almidón que pueda ser hidrolizada para que el proceso sea viable.



Figura XVIII: Cereales cerveceros: Arroz (1), Sorgo (2), Maíz (3), Avena (4), Centeno (5) y Trigo (6).

2.3.1.1. CEBADA

De los cereales cerveceros, la cebada, es sin duda el principal y mayoritario. La '*Hordeum vulgare*' es una planta de la familia de las gramíneas; cuya gran adaptabilidad y versatilidad a diferentes climas, ha extendido su cultivo por todo el planeta [75]. Este cereal es de los más ricos en almidón y posee las proteínas suficientes para asegurar el alimento y desarrollo idóneos de la levadura [76]. La cebada se cultiva principalmente en climas templados; y como todas las plantas, su variedad depende de la época de siembra, de florecimiento, del regadío, del suelo, etc. [77]

No todas las variedades de cebada son óptimas para la elaboración de la cerveza. Se utilizan, las denominadas cebadas cerveceras, aptas para ser malteadas. Este tipo de granos ha de poseer una serie características para poder ser destinados a la producción de cerveza [78]:

- FÍSICAS: el grano debe ser grueso, uniforme, debe estar libre de infecciones y la cascarilla debe ser fina.
- BIOQUÍMICAS: el grano debe absorber bien el agua y que germine rápida y uniformemente, produciendo la mayor cantidad de malta posible; [79].

Es en el endospermo del grano, donde se encuentran las reservas de almidón, las cuales deberán ser hidrolizadas, para obtener los azúcares aptos para ser fermentados. La molturación de los granos, debe asegurar la rotura longitudinal del grano, es decir, desde el micrópilo hasta la barba (figura XVIII). Este micrópilo es precisamente el precursor de la raíz, cuya formación es la que produce, como subproductos las enzimas, alfa y beta amilasa (principalmente) utilizadas en la maceración [80].

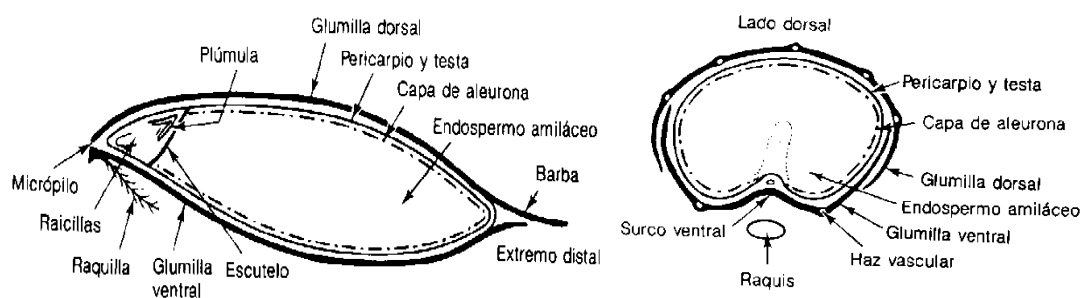


Figura XIX: Planta de cebada (superior izquierda), granos de cebada (superior derecha) y las partes del grano.

2.3.2. LÚPULO

El lúpulo empleado en cervecería, es el '*Humulus lupulus*', es una planta perenne trepadora. Es una especie dioica con una gran diversidad morfológica [81], lo cual causa problemas con la uniformidad a la hora de cultivar, por lo tanto, los cultivadores deben cosechar asexualmente (esquejes, injertos o estacas) para asegurarse de contar siempre con el mejor y más apto lúpulo para el proceso cervecero [82].

Después de la cosecha, el lúpulo se deseca en hornos con aire caliente. En el momento de recogida, los lúpulos tienen un contenido de humedad del 75 – 80%, que tiene que ser reducido hasta el 10% (figura XIX) para poder almacenarlos durante los períodos de tiempo necesarios [83].



Figura XX: Lúpulo antes y después de ser desecado

La función del lúpulo en la cerveza es dar aroma y sabor amargo, en contraposición al dulce de los azúcares de los cereales, además, los α -ácidos que contiene, tienen un efecto antibiótico contra las bacterias, además de que es un precursor de la actividad de la levadura [84].

Existen muchas variedades de lúpulo, cada uno de las cuales, con unas propiedades intrínsecas que hace a cada lúpulo adecuado para un tipo de levadura, grano, temperatura de proceso, color de cerveza, tiempo de almacenaje, cantidad de espuma... en otras palabras que prácticamente existe un lúpulo para cada cerveza [85]. Algunos de los más utilizados son [86]:

Ahtanum (EE. UU.)	Hallertauer Mittelfrüh (Alemania)
First gold (UK)	Lublin (Polonia)
Mount Hood (EE. UU.)	Saaz (Rep. Checa)

2.3.3. LEVADURA

Las levaduras empleadas en la industria cervecera se clasifican, según donde producen la fermentación, y se diferencian dos especies principalmente:

A. *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*. Es la más utilizada en la fabricación de cerveza. Como fuentes de nitrógeno utilizan amonio, urea y sobre todo los aminoácidos presentes en el extracto de la cebada.

La fermentación tiene lugar en la superficie del mosto, ocurre porque las colonias de *Saccharomyces* suben a la parte superior del tanque de fermentación. La temperatura que puede soportar el proceso sin interrumpirse está en un rango templado, de 15 °C a 22 °C. Esto se debe a que durante la fermentación alcohólica se libera calor, como consecuencia de las reacciones metabólicas, por lo se va incrementando la temperatura del tanque hasta llegar a los valores límites donde el proceso es inviable. Este proceso también se conoce como fermentación *ale* [87].

Se trata de una levadura difícil de controlar debido a que al fermentar en la parte alta del caldero esta menos protegida que su compañera y es más susceptible a especies invasoras o a sufrir alteraciones que provocarían mal sabor en la cerveza.

B. *SACCHAROMYCES PASTORIANUS*. También conocida como *Saccharomyces carlsbergensis* por haber sido la empresa danesa, Carlsberg, la que popularizó el uso de esta cepa de levadura. Se trata de un híbrido de *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces bayanus*.

Este tipo de levadura se deposita en el fondo, y es ahí mismo donde, de igual forma que su homónima, fermenta los azúcares presentes en el mosto. Este tipo de fermentación también es conocida como *'lager*. El proceso empieza alrededor de los 9 °C.

Sendos microorganismos poseen una taxonomía casi idéntica, ya que, hasta la especie, comparten reino, división, clase, orden familia y género (tabla IV) [88].

Tabla IV: Taxonomía de las dos levaduras cerveceras principales

TIPO DE CÉLULA	Procariota	
REINO	Fungi	
DIVISIÓN	Ascomycota	
CLASE	Hemiascomycetes	
ORDEN	Saccharomycetales	
FAMILIA	Saccharomycetaceae	
GENERO	Saccharomyces	
ESPECIE	Cerevisiae	Pastorianus/Carlsbergensis

Además de estas dos especies, algunas casas trabajan con sus propias cepas híbridas tratando de encontrar el equilibrio entre las ventajas que supone tanto una, como la otra. Siendo este uno de los mejores secretos de cada industria, celosamente guardado y confiado a unos pocos.

El principal factor que limita el crecimiento de las levaduras es la temperatura. Como se ha visto en los párrafos anteriores cada especie precisa de una temperatura de trabajo propia. Las levaduras *lager* necesitan de bajas temperaturas durante la fermentación, por ello desde hace varias décadas se ha extendido su uso en los países del norte (Canadá, Alemania...). Por otro lado, las levaduras *ale* son capaces de soportar temperaturas templadas, lo cual las hace idóneas en los países con los climas más templados e incluso cálidos (EE.UU., España...) [89].

La temperatura del mosto en el momento de la inoculación también es importante. Si está más de 5 °C por debajo de la temperatura a la que se ha mantenido la levadura de siembra, se produce el "choque térmico", lo que deja a la levadura en un período de inactividad prolongado.

Aunque no existan manifestaciones externas de actividad metabólica durante las primeras horas, tras la inoculación, están ocurriendo diversos fenómenos fisiológicos y bioquímicos importantes. Las levaduras se adaptan al nuevo medio de crecimiento (el mosto), siendo especialmente importante el efecto osmótico de los azúcares que contiene.

En general los grandes fabricantes cultivan cepas puras en el laboratorio, pero existen unos pocos que cosechan y reutilizan la misma levadura durante varias generaciones. La primera opción es llevada a cabo por empresas con una producción frecuente, de esta forma se aseguran que el producto final siempre tenga las mismas características. En cambio, las instalaciones de baja producción reutilizan la levadura tras la fermentación, manteniéndola en medios de cultivo o inactivándolas reduciendo su temperatura por debajo de los 5 °C hasta el momento de su uso. Ha de tenerse la precaución de dejar que se reactiven a temperatura ambiente antes de volver a usarse o preparar un *starter* [90].

2.3.4. AGUA

El agua forma parte del 85 % de la composición final del producto, se emplea a lo largo de todo el *brewing*. En el remojado de la germinación, en el macerado, en la limpieza del equipo, etc. [91] Las condiciones del agua empleada condicionaran a parte del flavor de la cerveza, y los tiempos de operación en las diferentes etapas, ya que un agua básica o neutra hará que la maceración requiera más tiempo.

En el caso de ser agua ultra-pura, la ausencia de oligoelementos como calcio o fosfatos retrasara el crecimiento de la levadura, de nuevo ralentizando el proceso [92]. Así mismo el agua ultra-pura puede afectar negativamente a los granos durante el proceso de germinación colapsando las células vegetales. La temperatura de la misma durante la germinación limitara la velocidad de acceso al endospermo ya que de hacerse demasiado rápido (agua caliente) pueden llegar generarse subproductos que producirán malos olores o, por el contrario, si se utiliza agua demasiado helada supondrá un acceso lento que alargara el proceso [93].

Los compuestos disueltos en el agua también influirán en el sabor final, nuestro propio proceso de elaboración y la operatividad (vida útil) de nuestros equipos y sistemas. Los requisitos mínimos que debe cumplir el agua es que toda la que se utilice es que debe ser potable (química y biológicamente segura) [94]. Además, debe ser incolora y debe tener el balance de minerales adecuado al perfil cervecero a elaborar [95].

2.3.5. IRISH MOSS

Es utilizado en cocina por sus propiedades espesantes, estabilizantes y/o floculantes. Se emplea como clarificador. Actúa como aglutinador y como floculante haciendo que la partícula se deposite en el fondo del fermentador [96].

2.3.6. OTROS

Aunque no se los puede considerar ingredientes del proceso su intervención es esencial en diferentes partes del proceso.

A. ACIDIFICANTE. Empleado para las regulaciones de pH, es decir durante las etapas de remojo (germinación) y en el ajuste del agua empleada para la maceración [97].

B. DESINFECTANTE: empleado para asegurar las condiciones del lugar de trabajo, así como de los materiales a utilizar, industrialmente se recurre a materiales asépticos [98].

2.4. OBJETIVOS

- Diseñar un proceso para la elaboración de cerveza.
- Preparar el montaje del equipo para realizar el proceso.
- Iniciar el proceso para el escalado del proyecto.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1. EQUIPAMIENTO

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| ▪ PARAFILM Y PAPEL DE FILTRO | ▪ BOTELLAS DE VIDRIO |
| ▪ MATRACES AFORADOS | ▪ VIDRIOS DE RELOJ |
| ▪ AGITADORES Y MOSCAS | ▪ HIDRÓMETRO Y UNA PROBETA |
| ▪ PIPETAS Y VARILLAS DE VIDRIO | ▪ PHMETRO |
| ▪ TAMICES | ▪ CAJAS PETRI |
| ▪ SOPORTES Y PINZAS | ▪ BALANZA DE PRECISIÓN |
| ▪ SONDA TERMOMÉTRICA | ▪ MANGUERAS DE USO ALIMENTARIO |
| ▪ BOMBA PERISTÁLTICA | ▪ MANGUERA BOMBA PERISTÁLTICA |
- MOLINO: Con el que se molturaron los granos.



Figura XXI: Molinillo de café empleado para moler la cebada

- **REFRACTÓMETRO:** Con el que se midieron los grados Brix del mosto antes, durante y después de la fermentación con el fin de conocer la concentración y la evolución de los azúcares presentes.



Figura XXII: Refractómetro ABBA.

- **BAÑO TERMOSTATIZADO:** Ya fuese para la maceración (65 °C) o para la fermentación (8 °C) se empleó un baño calefactado por una resistencia o por una bomba de frío ambos sistemas incorporados en el propio equipo.



Figura XXIII: Baño termostático empleado en los calentamientos y enfriamientos del mosto.

- **SERPENTIN:** de acero inoxidable en hélice, colocado en el interior de la cuba y cuyos extremos atravesaban la tapa del recipiente.



Figura XXIV: Serpentin de acero inoxidable

- **TANQUE DE ELABORACIÓN:** Para la elaboración de todas y cada una de las partes del proceso se empleó un recipiente de acero inoxidable de 6 litros de capacidad.



Figura XXV: Olla de acero inoxidable

- **ASPERSORES:** Con una conexión en forma de T y una manguera de 18 mm de diámetro hecha de PVC conectada a cada extremo, a la cual se le practicaron unos orificios, se consiguió un sistema de aspersión eficiente y económica.



Figura XXVI: Manguera de uso alimentario perforada.

- **TAMICES:** Empleados para el análisis de la molturación y la clasificación de la cebada.



Figura XXVII: Tamices empleados en el análisis de la molienda.

- MICROSCOPIO ÓPTICO: Con el que se realizó un control cualitativo tanto de la levadura como del mosto.

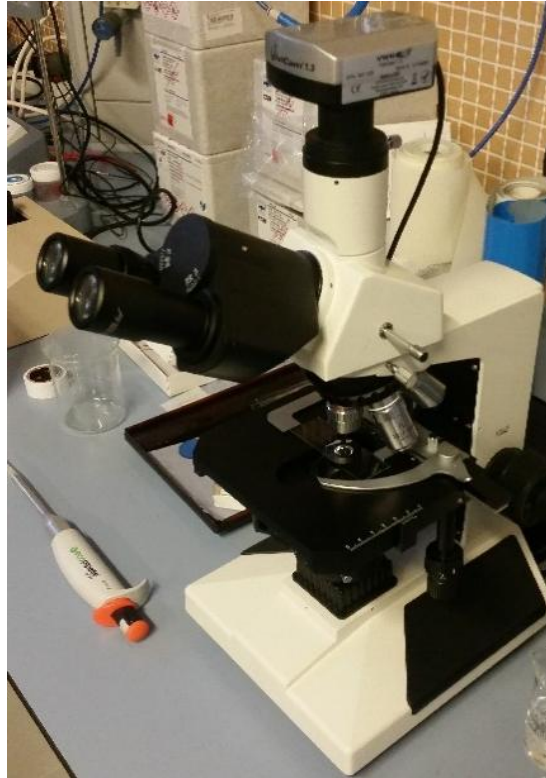


Figura XXVIII: Microscopio óptico utilizado para el análisis del estado de la levadura.

- TRAMPA DE AIRE ('AIRLOCK'): Al que se le añadió etanol al 96 % con el fin de evitar problemas de sobrepresión por acumulación de CO_2 además de la invasión por parte de sustancias externas.



Figura XXIX: Trampa de aire o *airlock*.

3.2. INGREDIENTES Y REACTIVOS

Para la preparación de la cerveza se necesitó, como ingredientes del proceso:

- 2 Kg de cebada Pilsen Weyermann.
- Levadura WYEAST XL 2001 URQUELL LAGER.
- 1 pastilla de Irish Moss en pastillas.
- 125 g de Flor de lupulo Tettnanger.

Asimismo, también se emplearon otros reactivos durante el proceso, tales como:

PARA LA PRUEBA DEL LUGOL

- 3 mg de Ioduro potásico
- 1 mg de yodo (sólido)

Se preparó una solución lugol que se utilizaría para analizar el grado de degradación del almidón durante el proceso de maceración. El almidón rodea las moléculas de yodo y dota a la mezcla de un color azul violáceo el cual a medida que la maceración avanza, supondrá que la prueba de tinción no muestre color, dejando el característico color marrón caramelo del mosto. Para preparar este reactivo se disolvieron 3 g de yodo (I_2) y 1.5 g de ioduro potásico (KI) en 100 mL de agua destilada

PARA LA LIMPIEZA DEL MATERIAL A UTILIZAR

- Alcohol 96° de farmacia

PARA LA PREPARACION DEL MEDIO DE CULTIVO

- Pastilla de caldo de verduras
- Gelatina neutra

Se calentaron 50 mL agua destilada con la pastilla de caldo hasta que quedó disuelta posteriormente se añadió un sobre de gelatina neutra y se removió hasta que se formó una mezcla homogénea que se colocó sobre tres cajas Petri se dejó enfriar.

3.3. MONTAJE

El sistema de montaje fue el mismo para todas las partes del proceso cervecero solo variaba la conexión de tuberías que se montaba y se desmontaba según se fuese a macerar o no.

En los procesos que se necesitaba agitación además de temperaturas próximas a 100°C el serpentín y el baño dejaban de resultar útiles, con lo que se colocó un agitador magnético calefactado.

Una vez conocido el proceso cervecero y cómo podemos realizarlo, procederemos con la metodología seguida en el proyecto donde se destacarán las modificaciones aportadas sobre los diferentes apartados del *brewing*.

El proceso seguido queda resumido en el siguiente esquema:

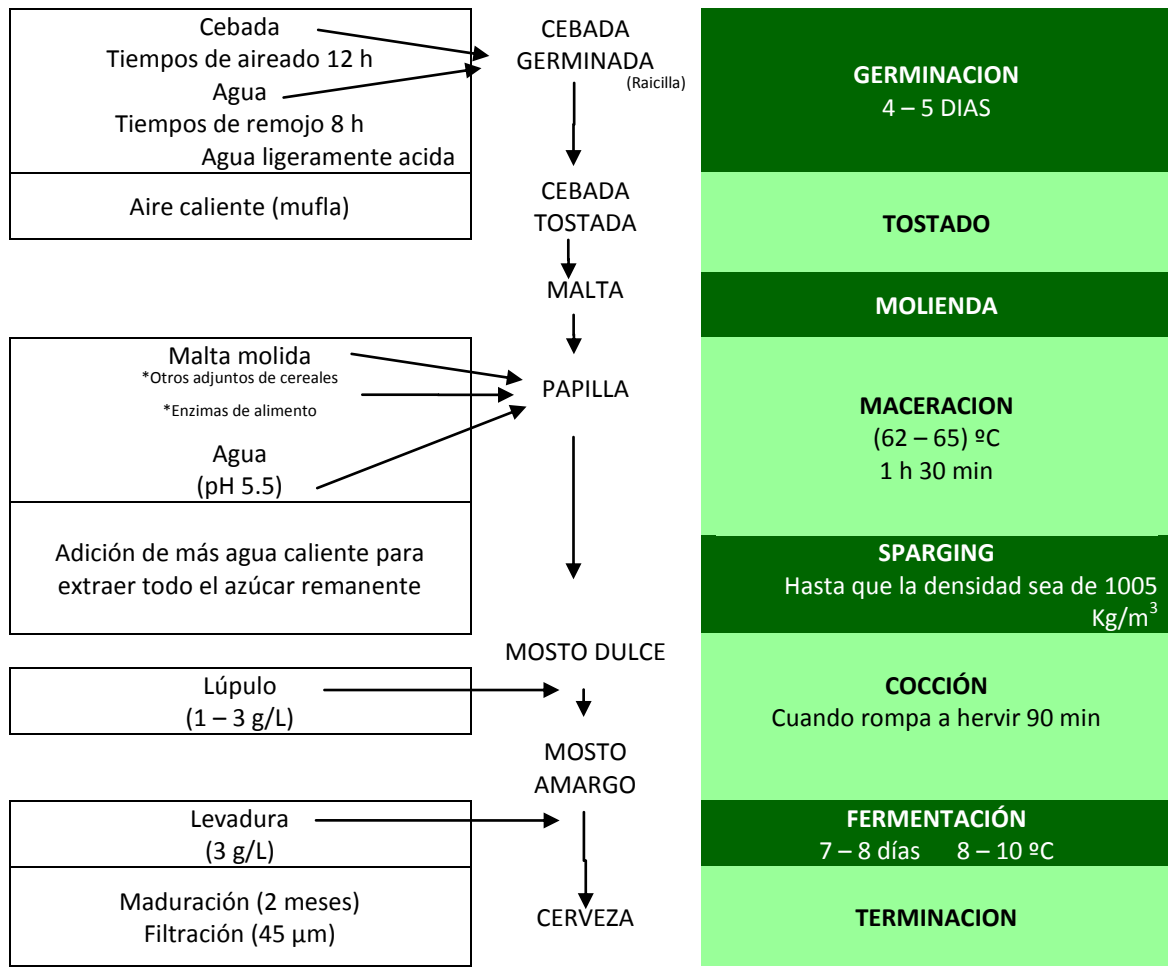


Figura XXX: Esquema de los pasos seguidos en la elaboración de cerveza.

4. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1. MALTEADO DE LA CEBADA

Para el malteado, o germinación, de la cebada se pesó la cantidad de grano que se deseaba emplear en cada ensayo, se colocó en una cuba con una gran superficie y no muy alta y se le agregó agua, así como una pequeña cantidad de ácido sulfúrico 1N, puesto que la germinación de la mayoría de las semillas se ve favorecida en medios ácidos.

Se observó, que, los tiempos de germinación variaban significativamente de una remesa a otra. El caso más significativo fue el ensayo 4 que, en dos días, la mayoría de la cebada ya tenía raicilla. Fue la primera carga la cual se remojava en aguas acidas, por lo que se estableció que unas pocas gotas para 2-3 litros eran muy beneficiosas para el grano.

También se utilizó agua mineral para la germinación de los granos a partir del ensayo 3, desechando el agua corriente, por las malas calidades que tiene el agua de Alcoy (alta concentración de cloro). Aunque esto no tuvo repercusión sobre la germinación, se realizó como medida preventiva a la aparición de malos sabores o posibles retrasos en los procesos de germinación.

Tabla V: Datos de la germinación cebada.

TIPO DE GRANO	HUMEDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5
Verde [g]	12 %	1000.0	350.0	100.0	500.0	1000.0
Germinado [g]	46 %	4134.1	984.375	287.5	1916.67	3806.45
Tiempo [días]		> 10	8	6	5	6
Volumen de agua [L/remojado]		3.5	2.5	1.5	2	4
Nº de remojados		5	7	6	7	6
Tipo de agua		Corriente		Mineral		
H ₂ SO ₄ (1N) [mL]		0	0	0	3	5

Se alternaron los procesos de remojado y aireado, siempre manteniendo las 8 y 13 horas respectivamente. Y se observó que la mayoría de los ensayos presentaban una gran cantidad de granos germinados (figura XXX) a partir de la quinta adición de agua, con lo que se postuló que el número de remojados óptimo sería de 5 o 6 para este tipo de cebada.



Figura XXXI: Aspecto de la cebada caramel antes (izq.) y después de la germinación (dcha.)

4.2. SECADO Y TOSTADO DE LA CEBADA

El secado de la cebada se inició cuando la remesa de granos en germinación presentaba un gran número de cebada con raicilla. Para ello se prolongó el periodo de aireación que pasó de las 12 h a 24 h. Siempre aislado de la luz del sol y en una habitación no demasiado cálida.

Por otro lado, el tostado se realizó en una sartén a fuego suave y siempre removiendo los granos a fin de favorecer la distribución del calor y minimizar la desnaturalización de las enzimas formadas en el proceso anterior. Trascurrido el tiempo necesario los granos adquirirían un color ocre, se tronaban más duros y reducían su tamaño considerablemente.

Con el grano germinado se procedió a pesarlo antes y después de las veinticuatro horas de secado, de esta forma controlamos la pérdida de humedad que se experimentaba con el secado y el tostado, tal y como queda reflejado en la tabla VI.

Tabla VI: Datos antes y después del tostado de la cebada.

ESTADO DEL GRANO	HUMEDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5
Germinado [g]	46 %	4134.1	984.375	287.5	1916.67	3806.45
Tostado [g]	5 %	416.6	106.997	31.25	77.42	723.16
Tiempo [min]		0	65	98	72	75

Los tiempos de tostado varían significativamente porque se buscaba la obtención de diferentes tostados y así comprobar si la metodología y los tiempos de trabajo de las demás partes del proceso se veían afectados por la utilización de malta negra o dorada.

Puesto que trascurrido el tiempo del ensayo 2 apenas se aprecia variación en la tonalidad del grano se optó por detener el tostado y realizar todos los ensayos con la malta tostada hasta el color ámbar cuyo aspecto es el que tenemos en la figura XXXI.



Figura XXXII: Cebada tras el tostado

Como puede verse, el grano, tras ser tostado, es más pequeño de lo que era originalmente y por supuesto mucho más que cuando estaba hidratado, de modo que además de conseguir más tiempo de almacenaje sin mermas, ya que, al contener menos agua, la posibilidad de que los granos se pudran, se reduce; a la vez que se consigue una reducción de la masa total de granos, de modo que se pueden almacenar muchos más granos en el mismo espacio.

4.3. MOLTURACIÓN DE LA CEBADA

La molturación de la malta se llevó a cabo mediante el molinillo de café y se fue tamizando con una luz de plato determinada. Se siguió la recomendación de molienda según la EBC (*European Brewing Convention*):

Tabla VII: Datos molienda optima según la EBC.

FRACCIÓN	LUZ DE MALLA	RATIO	DESVIACIÓN RATIO
CASCARA	1270 mm	18 %	10 – 25
MOLIENDA GRUESA	1010 mm	8 %	5 – 10
MOLIENDA FINA I	0.547 mm	35 %	28 – 42
MOLIENDA FINA II	0.253 mm	21 %	12 – 30
HARINA	0.152 mm	7 %	4 – 8
POLVO	Fondo	11 %	8 - 15

Una vez tostada la cebada, se procedió con la molienda, puesto que se pueden llegar a perder propiedades organolépticas por la exposición prolongada del endospermo al ambiente, la molienda se realizó siempre que se pudo el mismo día a la maceración a excepción del ensayo 5 que se realizó el día anterior. Para proteger la malta se guardó en una bolsa hermética con la mínima cantidad de aire, aislada siempre de la luz.

Figura XXXIII: Tablas datos de molienda.

			MASA [g]	RATIO	RATIO OPTIMO	DESVIACIÓN RATIO	AJUSTE		
ENSAYO 1	Luz tamiz [mm]	0.85	198.6	47.7 %	26 %	(5 - 30)	Excesiva	MEJORABLE	
		0.5	133.4	32.0 %	35 %	(28 - 42)	Optimo		
		0.25	72.4	17.4 %	21 %	(12 - 18)	Aceptable		
		0.15	8.4	2.0 %	7 %	(4 - 8)	Mejorable		
	Fondo		1.9	0.4 %	11 %	(8 - 15)	Mejorable		
	Masa total tostado		416.6	100 %					
ENSAYO 2	Luz tamiz [mm]	0.85	37.9	35.4 %	26 %	(5 - 30)	Excesiva	MEJORABLE	
		0.5	39.2	36.6 %	35 %	(28 - 42)	Optima		
		0.25	3.4	3.2 %	21 %	(12 - 18)	Mejorable		
		0.15	12.7	11.9 %	7 %	(4 - 8)	Excesiva		
	Fondo		13.8	12.9 %	11 %	(8 - 15)	Optima		
	Masa total tostado		106.9	100 %					

ENSAYO 3	Luz tamiz [mm]	0.85	5.9	18.8 %	26 %	(5 - 30)	Optimo	OPTIMO
		0.5	4.9	15.6 %	35 %	(28 - 42)	Mejorable	
		0.25	6.7	21.4 %	21 %	(12 - 18)	Optimo	
		0.15	7.7	24.6 %	7 %	(4 - 8)	Excesiva	
	Fondo	5.9	19.0 %	11 %	(8 - 15)	Excesiva		
Masa total tostado	31.3	100 %						
ENSAYO 4	Luz tamiz [mm]	0.85	18.6	24.0 %	26 %	(5 - 30)	Optimo	
		0.5	25.9	33.5 %	35 %	(28 - 42)	Optimo	
		0.25	18.1	23.4 %	21 %	(12 - 18)	Optimo	
		0.15	5.1	6.6 %	7 %	(4 - 8)	Optimo	
	Fondo	9.5	12.3 %	11 %	(8 - 15)	Optimo		
Masa total tostado	77.4	100 %						
ENSAYO 5	Luz tamiz [mm]	0.85	208.2	28.7 %	26 %	(5 - 30)	Optimo	
		0.5	295.7	40.8 %	35 %	(28 - 42)	Optimo	
		0.25	101.1	13.9 %	21 %	(12 - 18)	Optimo	
		0.15	47.5	6.5 %	7 %	(4 - 8)	Optimo	
	Fondo	70.0	9.6 %	11 %	(8 - 15)	Optimo		
Masa total tostado	723.1	100 %						

Para lograr una molienda optima, se molturaba el grano, se tamizaba y las porciones superiores, que siempre contenían más cantidad de malta volvían a ser molturadas y tamizadas, repitiendo el proceso hasta obtener los resultados anteriores.

4.4. MACERACIÓN DE LA MALTA

Para la maceración de la malta se recurrió a la maceración simple en la cual se calentó el agua hasta los 70 grados centígrados para posteriormente introducir el grano molido. Inmediatamente la mezcla redujo su temperatura de modo que se aportó calor hasta alcanzar los 65 °C óptimos para el proceso.

En el ensayo 3 se intentó proceder con una infusión por etapas, también conocida como rampas de temperatura, en la cual, de la misma forma que en la otra el agua debía ser acidificada, se mantenía la relación de 3:1 pero en este caso se mantuvieron unos rangos de temperatura determinados durante unos tiempos específicos.

El ensayo 1 se realizó en un reactor de vidrio encamisado de 3 litros. Pero el 'sparging', y el lavado de los granos era una tarea muy complicada por lo que se buscó una alternativa a este recipiente.



Figura XXXIV: Reactor biológico encamisado empleado en el ensayo 1.

El ensayo 2 se realizó de nuevo en un reactor de vidrio, pero esta vez de menor tamaño (1 L), para garantizar si el proceso de maceración era el adecuado. El tiempo de almacenado de esta muestra fue demasiado largo y por ello se desechó por precaución a que hubieran bacterias que afectaran a la fermentación.

Como se necesitaba trabajar con volúmenes mayores se buscaron alternativas a los reactores vidrio encamisados, de modo que se optó por ollas de cocina. El problema del ensayo 3 fue, el utilizar una de aluminio, de mala calidad, que al combinar altas temperaturas (65 - 75 °C) con pH ácidos (5.5) se observó que producía un mosto con un color grisáceo, lo que nos indicó que posiblemente hubiera una disolución del metal. Naturalmente, este ensayo fue rechazado. En cuanto a los ensayos restantes, se utilizó otra olla esta vez de acero inoxidable con la cual si se obtuvo un mosto con las propiedades que cavia esperar.

Tabla VIII: Datos iniciales a la maceración.

	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	ENSAYO 4	ENSAYO 5
MALTA [g]	416.6	106.997	31.25	77.42	77.42
VOLUMEN [mL]	1250	220	100	250	250
pH	6.8	5.5	4.9	5.5	5.5
AGUA	Corriente	Corriente	Destilada	Malteado	Malteado
TIEMPO	3h 43min	3h 5min	2h 5min	1h 40 min	2h 02min
MACERACIÓN	Escalonada		Simple		

El agua que se empleó en los ensayos 4 y 5, era parte del agua utilizada durante las 8h que el grano estaba en remojo durante la etapa de germinación. Esta agua era rica en los enzimas que se necesitaban para que la maceración resultase eficiente.

Se compararon los valores de temperatura de la mezcla de grano y agua tanto en el ensayo con maceración con rampas como en el de infusión simple. A fin de corroborar si se era capaz de reproducir los datos bibliográficos.

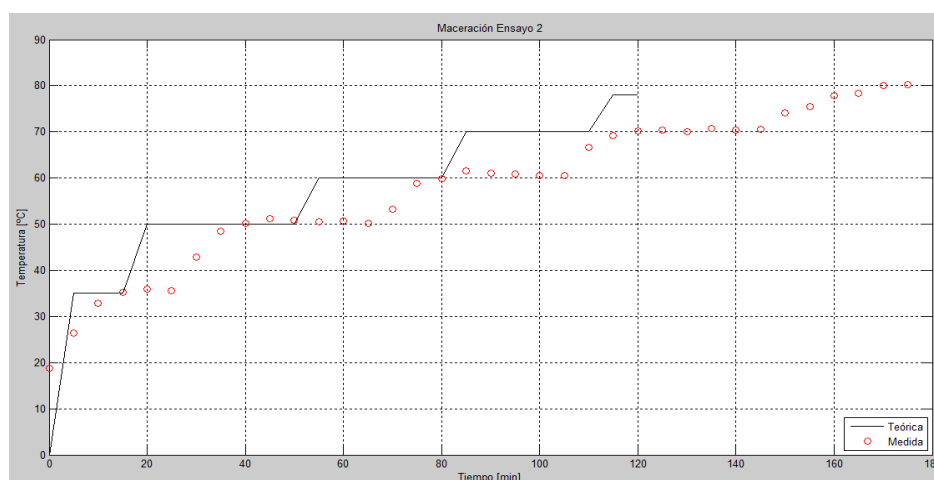


Figura XXXVII: Maceración por rampas de temperatura del ensayo 2

Como podemos ver, durante los primeros minutos del experimento la simulación y los datos recogidos son casi idénticos, pero a medida que avanzaba el ensayo, era más difícil aumentar de manera repentina la temperatura hasta el siguiente rango, ya que no podía subirse de manera muy brusca para luego bajarse ya que podía causar la liberación de sustancias perjudiciales como taninos o proteínas las cuales no son buenas para la cerveza.

De este modo un proceso que debe durar hora y media, se prolongó hasta las tres horas, con lo que la malta alcanzaba el punto de caramelización, lo cual la incapacitaba para ser utilizada por las levaduras posteriormente. Por esta razón se optó por un procedimiento más sencillo, la infusión simple.

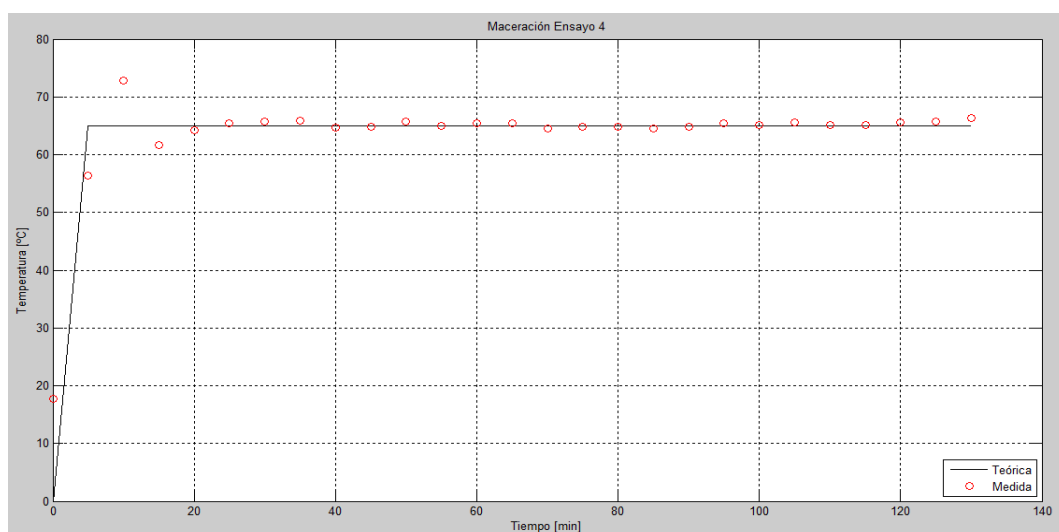


Figura XXXVI: Maceración simple del ensayo 4.

Una vez concluido el tiempo de maceración y puesto que los mostos de los ensayos 4 y 5 son los únicos que cumplían las especificaciones de la prueba del yodo; fueron los únicos a los que se les realizó los procesos posteriores a la maceración.

Tabla IX: Control de calidad mosto Ensayo 4.

	ENSAYO 4		ENSAYO 5	
	Valor	Valor medio	Valor	Valor medio
pH	4.6	4.6	4.4	4.4
	4.7		4.5	
	4.7		4.4	
Temperatura [°C]	20.4	20.5	19.2	19.5
	20.8		19.8	
Densidad [Kg/m ³] 1 008 - 1 030	1 016.1	1 016.4	1 037.1	1036.1
	1 018.3		1 035.2	
	1 014.7		1 036.1	
Tinción de yodo	No se aprecia tonalidad azul			

4.5. RECIRCULACION Y LAVADO DEL MOSTO

La recirculación se realizó mediante una bomba peristáltica y un sistema de mangueras a las cuales se les practico unos orificios tanto para sorber el mosto, sin que pudiesen pasar los granos de la mezcla como para esparcir la mezcla por encima del lecho de grano. El caudal de recirculado para los 2 litros del ensayo 4 y los 4 litros del ensayo 5 se fijó en 1 L/h con el fin de no afectar al lecho de grano.

La recirculación del mosto se llevó a cabo durante 30 minutos. Trascurrido este tiempo se detenía el *sparging*, el mosto presentaba un aspecto claro y menos turbio, entonces se repetía el proceso con agua caliente y se midió la densidad de todo el extracto una vez transcurridos los 30 minutos de lavado.

4.6. COCCION DEL MOSTO

Para la cocción del mosto, se retiraron las mangueras, se conectó el agitador magnético calefactado y se fijó la temperatura en 100 °C. Una vez comenzó a hervir se puso en marcha el cronometro para poder realizar la adición de lúpulo pertinente a los 15, 75 y 90 minutos de cocción. Asimismo, destacar que en la segunda adición también se añadió el Irish Moss.

Para la cocción del mosto se realizaron una serie de pruebas a fin de asegurar la estabilidad del mosto, pruebas que se realizaron tanto para el mosto del ensayo 4 como para el del 5 tabla X..

Tabla X: Datos hervido.

		ENSAYO 4		ENSAYO 5	
pH	Pre-cocción	4.4		4.9	
	Post-cocción	3.9		3.8	
Volumen de mosto producido [L]		2.5		4	
Tiempo hasta el hervido [min]		30		42	
Tiempo de hervido [min]		90		93	
Lúpulo (3 g/L) [g]	1ra adición 15 min	6.3	0.9 (15 %)	14.0	2.2 (15 %)
	2da adición 70 min		4.4 (70 %)		10.0 (70 %)
	3ra adición 90 min		0.9 (15 %)		2.1 (15 %)
Irish Moss [g]		0.1		0.2	

El resultado de la cocción dio un mosto concentrado en azúcares dando como resultado una densidad 10 veces mayor a la del mosto antes de ser cocido, como vemos en la tabla XI.

Tabla XI: Resultados del aumento de concentración de azúcares en el mosto tras el hervido.

	Densidad [Kg/m ³]		Aumento de la concentración
	Pre-cocción	Post-cocción	
Ensayo 4	1 016.4	10 284.7	9.9 %
Ensayo 5	1036.1	10602.6	9.8 %

Destacar que el mosto empleado para la realización de la medida de densidad, tras ser utilizado, por entrar en contacto con multitud de equipos se desechó como medida preventiva para evitar contaminaciones.

4.7. ENFRIAMIENTO DEL MOSTO LUPULADO

Una vez concluida la cocción, la mezcla se enfrió mediante un intercambiador de acero inoxidable y se hizo circular agua fría (5 °C) con el fin de bajar la temperatura del mosto lo más rápidamente posible.

4.8. FERMENTACIÓN PRINCIPAL

Una vez la temperatura del mosto era inferior a los 12 °C se inoculó la levadura, y con la temperatura fijada en 8 °C, se selló la tapa con el fin de minimizar las reacciones de oxidación del mosto y para ello la trampa de aire. Asimismo, se atravesó la parte superior con manguera de plástico de uso alimentario conectada a una jeringuilla, que se emplearía para la toma de muestras.

Se realizaron medidas de los azúcares del mosto en fermentación mediante el refractómetro, en intervalos de 1 hora por las mañanas y dejándose tarde y noche hasta la siguiente medición. Se observó que la evolución de los azúcares seguía una trayectoria descendente, lo cual confirmaba que la levadura estaba transformando el mosto, en el alcohol y el gas propio de la cerveza. Los datos correspondientes a los ensayos de grados Brix en el proceso de fermentación son presentados en la tabla XIII.

Tabla XII: Evolución de la concentración de azúcares durante la fermentación.

Tiempo de muestreo [horas]	Concentración de azúcares		Tiempo de muestreo [horas]	Concentración de azúcares	
	ENSAYO 4 [g/mL]	ENSAYO 5 [g/mL]		ENSAYO 4 [g/mL]	ENSAYO 5 [g/mL]
0	11.4	13	120	7.9	8.3
15	11.5	11.5	121	8.0	7.9
25	9.3	10.8	122	7.6	8
26	10.6	10.6	123	7.8	7.9
27	10.8	10	144	8.2	7.7
48	10.2	9.0	145	8.0	8.1
49	10.2	9.3	146	7.6	8.5
50	9.6	9.5	147	7.8	8.6
51	9.7	8.9	168	7.9	8.2
52	9.7	9.0	169	7.5	8
72	9.2	8.3	170	7.7	7.9
73	8.5	8.6	171	7.6	8.0
74	8.2	8.3	172	7.9	7.9
75	7.8	9.5	192	7.5	7.4
76	8.1	8.7	193	7.8	7.6
96	8.5	8.6	194	8.0	7.4
97	8.1	8.7	195	7.8	7.5
98	7.8	8.2	196	7.4	7.4
99	6.9	8.3			

4.8.1. SIMULACION FERMENTACION.

Una forma de comprobar que la fermentación que habíamos realizado se había desarrollado correctamente, era comparando nuestros resultados con la simulación, utilizando modelos matemáticos encontrados y contrastados en bibliografía. Además, estas simulaciones nos podían servir para el proceso de escalado a nivel de planta piloto.

Para los cálculos se han preparado una serie de *scripts* de Matlab que leían los datos experimentales de hojas de Excel, otros que contenían parametros experimentales bibliográficos y por último los que simulaban y comparaban los resultados.

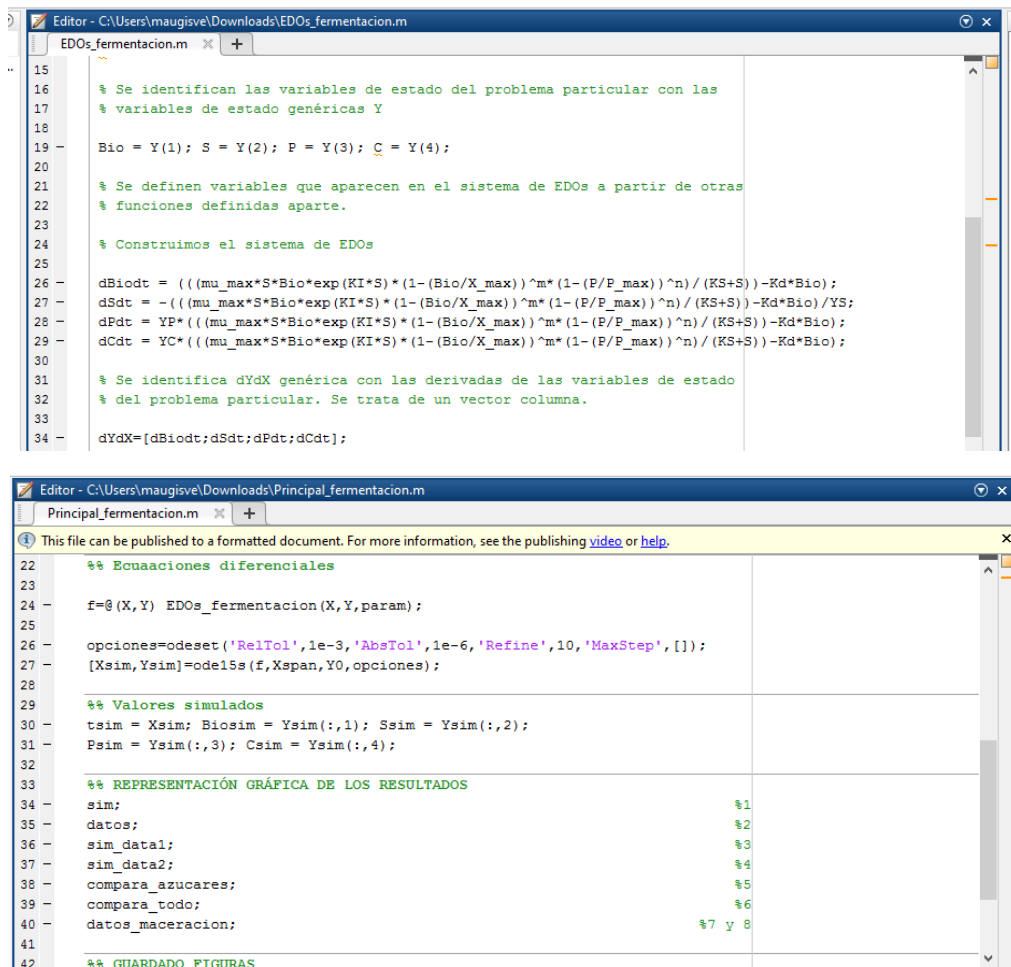


Figura XXXVII: Imágenes de los scripts de Matlab escritos para la simulación de la fermentación.

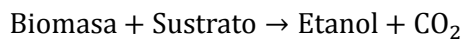
Existen algunos parámetros biocinéticos que dependen de T y serán estimados para las diferentes temperaturas de trabajo utilizando la siguiente ecuación

$$Parametro(T (^{\circ}C)) = A \cdot e^{\frac{B}{T}} + C \cdot e^{\frac{D}{T}}$$

Tabla XIII: Parámetros para el cálculo de factores biocinéticos [100, 101 y 102]

Parámetro	A	B	C	D
μ_{max}	2.402	-43.857	$-6.638 \cdot 10^{28}$	$-2.724 \cdot 10^3$
X_{max}	139.360	154.734	-138.492	154.734
P_{max}	$3.197 \cdot 10^5$	-104.778	$-3.437 \cdot 10^2$	-105.823
Y_X	$5.622 \cdot 10^4$	-166.992	$-5.794 \cdot 10^4$	-168.726
Y_P	-6.374	-39.493	6.398	-36.027

Una vez determinados los parámetros biocinéticos, procedemos con la elaboración del modelo matemático, donde tendremos en cuenta la evolución de la biomasa, el sustrato y de los productos principales generados (Etanol y CO₂) de acuerdo con la reacción simplificada de la fermentación, indicada anteriormente.



Como ya sabemos, la responsable de esta reacción es la levadura, y es por ello por lo que todos los cálculos estarán referenciados a la propia actividad metabólica de la misma, ya que parte del alimento será empleado en el propio desarrollo microbiano y otra parte será el que la levadura transformará en el alcohol de nuestra cerveza. El sistema de ecuaciones del modelo matemático utilizado para describir la fermentación de los azúcares por parte de la levadura se compone de 4 ecuaciones donde se describe la evolución de la biomasa (X), el sustrato (S), el etanol (P), y el CO₂ (C). [103, 104, 105, 106, 107, 108 y 109]. En la figura XVIII, se muestra el resultado de la simulación utilizando los valores iniciales experimentales. Como se puede observar

Ecuaciones I: Sistema de ecuaciones diferenciales para la simulación de la fermentación.

$$\frac{dX}{dt} = r_X = \frac{\mu_{max} \cdot S \cdot X \cdot e^{K_I \cdot S}}{K_S + S} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right)^m \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n - K_d \cdot X \quad 4.1$$

$$\frac{dS}{dt} = -r_S = -\frac{r_X}{Y_S} = -\frac{\mu_{max} \cdot S \cdot X \cdot e^{K_I \cdot S}}{Y_S \cdot (K_S + S)} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right)^m \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n - \frac{K_d \cdot X}{Y_S} \quad 4.2$$

$$\frac{dP}{dt} = r_P = Y_P \cdot r_X = \frac{Y_P \cdot \mu_{max} \cdot S \cdot X \cdot e^{K_I \cdot S}}{K_S + S} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right)^m \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n - Y_P \cdot K_d \cdot X \quad 4.3$$

$$\frac{dC}{dt} = r_C = Y_C \cdot r_X = \frac{Y_C \cdot \mu_{max} \cdot S \cdot X \cdot e^{K_I \cdot S}}{K_S + S} \left(1 - \frac{X}{X_{max}}\right)^m \left(1 - \frac{P}{P_{max}}\right)^n - Y_C \cdot K_d \cdot X \quad 4.4$$

Una vez establecido el sistema, es hora de comprobar si nuestros datos experimentales son correctos y no solo nos han llevado a obtener una buena cerveza, sino que también se ajustan a nuestras predicciones. En las siguientes figuras, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos 4 y 5, y como podemos ver, para ambos ensayos, para los que se llevó a cabo la fermentación, presentan un buen ajuste a nuestro modelo.

Aunque, en cada uno de ellos del volumen inicial de mosto era diferente (2.5 y 4 L) el extracto presentaba concentraciones de sustrato inicial bastante parecidas, lo cual se debe a que las condiciones de trabajo se repitieron en los dos experimentos, se utilizó la misma cebada y el mismo lúpulo.

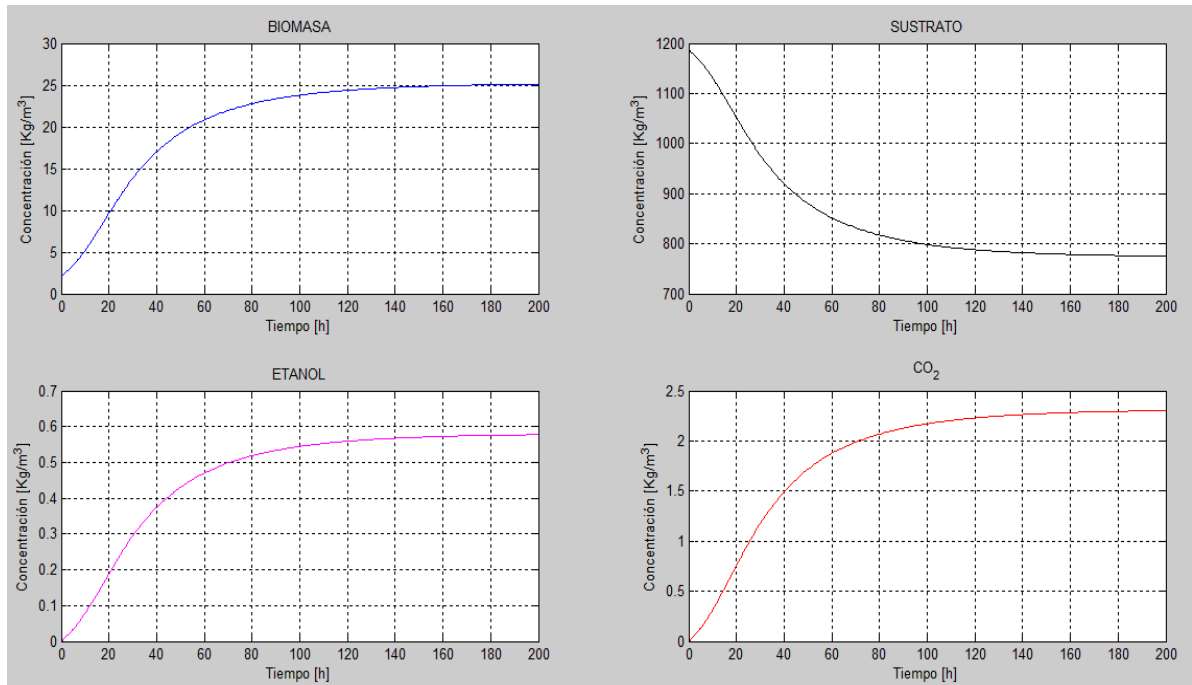


Figura XXXVIII: Simulación de la fermentación.

Una vez establecido el sistema, es hora de comprobar si nuestros datos experimentales son correctos y no solo nos han llevado a obtener una buena cerveza, sino que también se ajustan a nuestras predicciones.

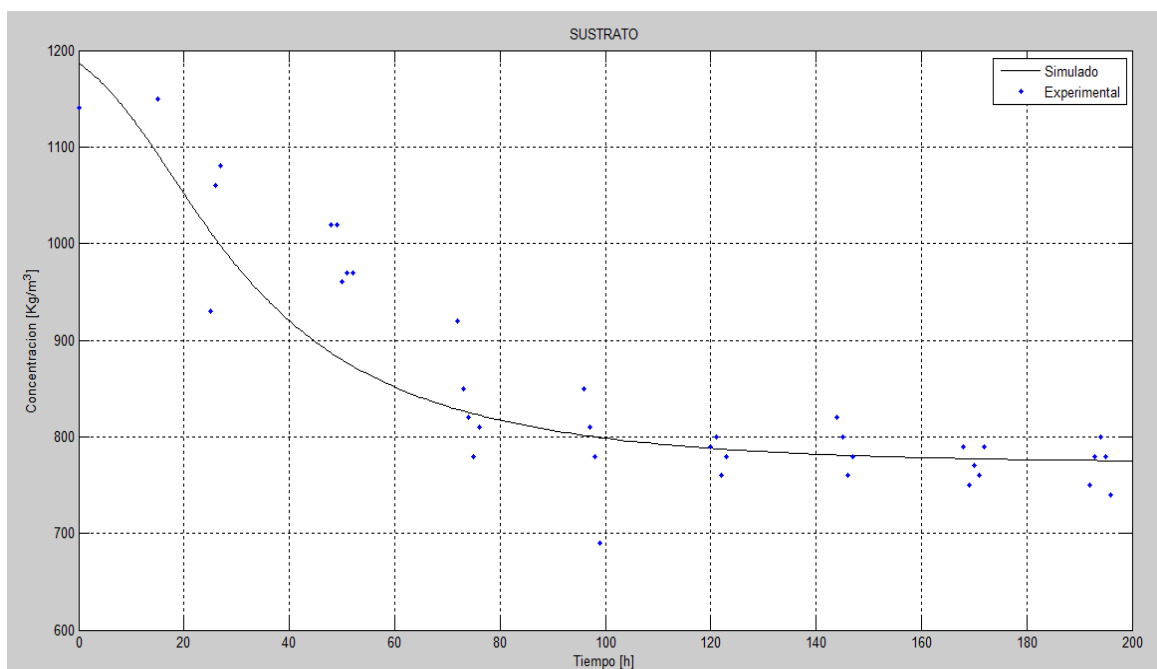


Figura XXXIX: Comprobación del ajuste del ensayo 4 a la simulación.

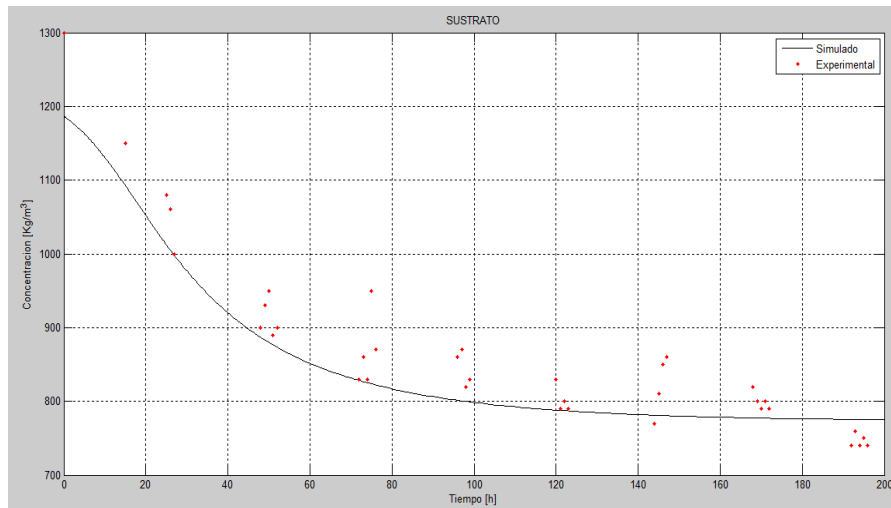


Figura XL: Comprobación del ajuste del ensayo 5 a la simulación.

Como podemos ver, para ambos ensayos, 4 y 5, para los que se llevó a cabo la fermentación, presentan una evolución similar a nuestra simulación, con lo que podemos afirmar, que, aunque se hubieran tenido bastantes problemas con los experimentos anteriores, en este caso se había procedido correctamente.

Los ejes contemplan el tiempo de muestreo, es decir las horas trascurridas desde el inicio de cada fermentación hasta la toma de muestras. Las medidas se tomaron en un refractómetro ABBA adaptado a glucosa, que como sabemos es el azúcar mayoritario del extracto, aunque sabemos que hay otros que participan, quizá sea esta una de las razones de la pequeña disparidad entre datos simulados y medidos que vemos en las gráficas.

Las simulaciones realizadas además de corroborar que la fermentación de nuestra cerveza ha sido correcta (figura XL), pueden ayudar en el proceso de escalado de la planta piloto, ya que nos indican los tiempos de reacción necesarios en la fase de fermentación y, por tanto, ayudar en la elección de los tanques necesarios para la producción que deseamos realizar.

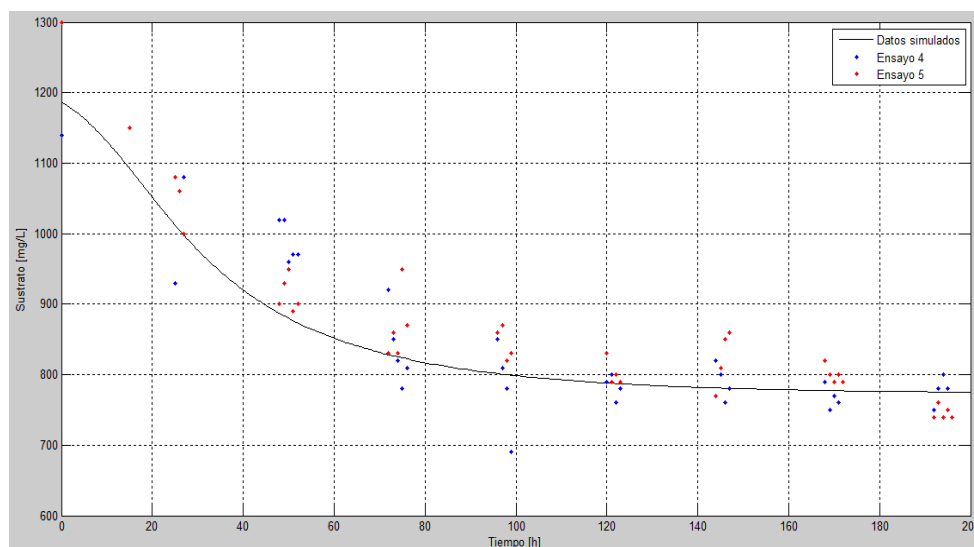


Figura XLI: Comparación de los datos experimentales entre ellos y respecto a la simulación.

4.9. TERMINACIÓN

Después de los 8 días de fermentación característicos de las lagers, las muestras de los ensayos 4 y 5 se almacenaron, en nevera a una temperatura próxima a los 6 °C, con una doble función, en primer lugar, para que la levadura remanente en la 'Green beer' prosiga con su actividad, en la que se afinan los sabores y aromas, además de que se le da más cuerpo a la espuma y se eliminan algunas sustancias como el posible ácido acético que hayan formado las levaduras.

Además, la maduración en frío también favorece la precipitación de levaduras y elementos en suspensión que solo sirven para enturbiar la cerveza.

El ensayo 5 terminó el 05/07/16 y se tuvo junto con el ensayo 4 en botella de plástico hasta unos días antes de la presentación del proyecto, donde se llevó a cabo una filtración del producto con membranas de 45 µm de poro donde se consiguió un producto de color ámbar-caramelo que sería lo que si entendemos como cerveza [99].

4.10. CONTROL DE CALIDAD

Los controles de calidad llevados a cabo durante el proceso quedan resumidos en la siguiente tabla,

Tabla XIV: Control de calidad empleado tras cada una de las partes del *brewing*.

	Macerado	Filtrado	Enfriamiento	Levadura	Fermentación	Cerveza
pH						
Densidad						
Temperatura						
Test forzado del mosto						
Tinción de yodo						

PRUEBA DEL LUGOL

Se extraía una pequeña cantidad de mosto, durante la fermentación, con un cuentagotas y se colocaba en un vidrio de reloj colocado sobre un papel blanco, a fin de poder observar el contraste de colores mejor. Con el mosto templado, tras un minuto, se añadía una gota del reactivo lugol, si no aparecía tonalidad azul se añadía otra gota y si persistía el color caramelo del mosto, se daba la maceración por terminada, ya que el mosto no contenía almidón. Por otro lado, si en alguna de las adiciones del lugol aparecía el color azul se dejaba que la maceración siguiese unos minutos más.

ANÁLISIS DE LEVADURA

Para comprobar que la levadura que se utilizaba en los experimentos estaba en condiciones correctas, se realizaron 3 ensayos, donde determinó cuanto tiempo y en qué condiciones se debía mantener a la misma, para utilizarla posteriormente en la fermentación.

Las cajas Petri con el caldo de cultivo y los excedentes de levadura se clasificaron según el lugar de almacenaje, puesto que tanto la cantidad de caldo de cultivo como de inóculo fue la misma. La caja A, se dejó en el laboratorio a temperatura ambiente, la B se guardó en la nevera a 5 °C y la C se puso en el congelador de la misma nevera. Tras los 8 días que transcurrieron entre la fermentación 4 y la 5 las cajas B y C no presentaban rastros de contaminación si se observaban al microscopio en cambio la caja A presentaba el aspecto extraño y con algunas zonas oscuras, con lo que se postuló que su almacenaje no era el adecuado (figura XLI).

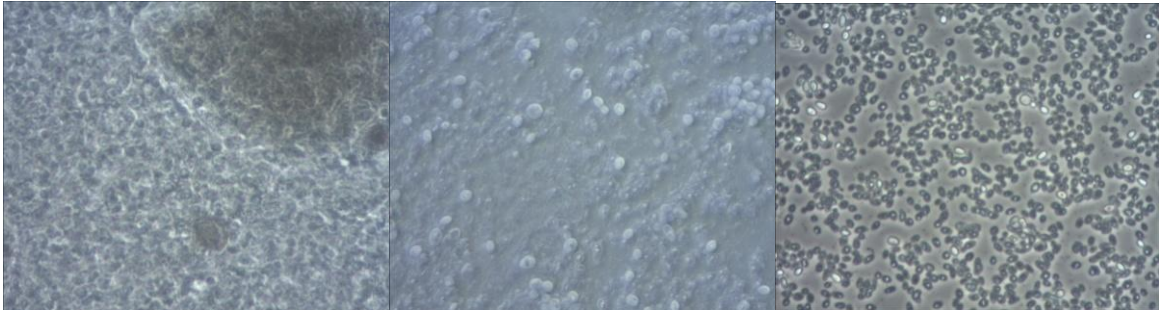


Figura XLII: Imágenes al microscopio de las cajas Petri A (izquierda), B (centro) y C (derecha).

De este modo pudimos afirmar que una conservación en frío, siempre y cuando el sellado fuese correcto permitía la utilización del paquete de levadura, ya abierto por lo menos 2 semanas después.



Figura XLIII: Aspecto del cultivo A trascurrida una semana.

5. ESCALADO DEL PROYECTO A PLANTA PILOTO

En este apartado se procede al escalado para la preparación de cerveza en mayores cantidades, a nivel de planta piloto. Para ello, realizaremos una serie de cálculos donde se pretenderá pasar de los 4 L generados en el laboratorio, para pasar a un valor de 50 L que produciríamos en la planta.

5.1. ESCALADO DE LOS REACTIVOS DEL PROCESO

La cantidad inicial de cebada se ha establecido en función de la relación 3:1 (agua-cebada) con la que se trabajó en la maceración. Puesto que industrialmente, el agua del lavado de los granos, apenas extrae azúcares, este proceso se suele reducir o incluso suprimir. En otras palabras, consideremos que toda el agua que formará la cerveza será la que introducimos en el macerador y/o el germinador. En la siguiente tabla se muestran las cantidades de cada una de las materias primas utilizadas en los ensayos a nivel de laboratorio y la cantidad necesaria para la producción de 50 L.

Tabla XV: Materia prima utilizada para la fabricación de cerveza

	LABORATORIO	PLANTA PILOTO
Cebada [Kg]	0.7	18.3
Agua [L]	4.5	60.0
Lúpulo [g]	14.0	150.0
Levadura [L]	0.008	1.0
Irish Moss [g]	0.2	5.1

Ha de tenerse en cuenta que la germinación de 18 Kg de cebada requerirá de una gran extensión para los tiempos de aireado por lo que se realizará por lotes. Tras la germinación con el secado y el tostado podemos mantener la cebada estable hasta periodos de 6 meses, con lo que la germinación, en nuestra planta piloto, se hará en tres remesas de 6.1 Kg cada una.

Si los lotes son de seis kilogramos, se emplearán unos diez litros de agua por lote, teniendo en cuenta que se realizan entre 6 y 8 remojados del grano hasta que germine más del 85% de los granos establecemos que el agua necesaria para nuestra planta piloto será de unos 270 litros.



Tabla XVI: Cuadro de precio materia prima anual del proyecto.

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD	€/AÑO
Cebada	270	Kg	12.4 €
Agua	18.33	L	0.4 €
Lúpulo	150	Kg	9.8 €
Levadura	1	L	18.8 €
Irish Moss	5.06	g	0.9
TOTAL			368.5

5.2. ESCALADO DEL EQUIPAMIENTO NECESARIO

Producir un lote, a nivel de planta piloto requeriría los ingredientes anteriores, pero debemos tener en cuenta que también se requerirá del equipamiento necesario que mantenga las condiciones que en el laboratorio usamos para tener la cerveza deseada, pero esta vez a mayor escala. Del mismo modo que en el laboratorio, trabajaremos tanto para macerar, para hervir, como para fermentar, en el mismo recipiente, con lo cual, deberemos seleccionar un recipiente que cumpla con las especificaciones de los tres procesos.

Tabla XVII: Equipamiento para una planta piloto de 50 litros de producción [111 y 112].

ELEMENTO	PRECIO UD [€]
BAÑO TERMOSTÁTICO CON CIRCULACIÓN MODELO WC-22	
<p>Control de temperatura por microprocesador digital Fuzzy Control Fabricado en acero inoxidable Alarma por fin de trabajo y/o error Sensor de bajo nivel de agua Temporizador regulable hasta 100 horas Temperatura regulable de 5 °C a 100 °C Volumen de 22 litros Precisión de ± 0.1 °C Potencia de 2 000 W</p> 	1 200.0
MOLINO	
<p>Construcción de acero resistente a la torsión, con acero galvanizado, Rodillos refrigerados y extremadamente resistentes al desgaste. Rendimiento: 10-30 kg/h.</p> 	276.5

TRANQUE DE TRABAJO

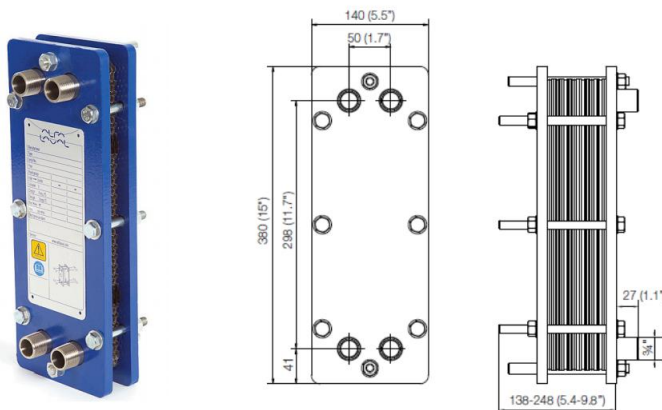
Unidad cerrada vertical en acero inoxidable AISI 316L.
 Agitador con velocidad variable para la mezcla homogénea.
 Sonda control temperatura.
 Regulador de temperatura.
 Sensores de nivel.
 Filtro entrada aire.
 Bolas difusores para la limpieza CIP.
 Mirilla con luz para inspección.
 Boca de hombre para inspección y mantenimiento.
 Piezas en contacto con el producto AISI 316L
 Capacidad de 70 L.
 Válvulas de mariposa 1" & ¾" en acero inoxidable AISI 316L.
 Válvulas de seguridad DN25 y drenaje.
 Manómetro 10 bar, 1½".
 Saca muestras Keofitt [a].



5 015.9

INTERCAMBIADOR DE CALOR. ALFA LAVAL, MODELO T2.

Bastidor de Acero al carbono.
 Potencia de 3 800 W
 Placas de Acero inoxidable AISI 316 y Titanio.
 Conexiones de Rosca externa ISO-R 3/4".
 Temperatura máxima de trabajo de 130 °C.
 Presión máxima de trabajo 16 bar[b].



941.5

ENFRIADOR DE MOSTO NIROSTA	
<p>Enfriador de placas. Bastidor de cobre. Nº de placas: 16 Enfriamiento con agua glicolada Temperatura de refrigeración hasta 5 °C Tiempo de enfriamiento 70 L/h Potencia 12 000 W</p> 	<p>45-60</p> <p>294.0</p>

El caudal de recirculado se fijó en 1 L/h para el volumen de 4 litros, de modo que, para el volumen de trabajo de nuestra planta piloto (50 L) se fijará en 11 L/h, de modo que necesitaremos una bomba de trasiego que como mínimo nos permita fijar este caudal en la recirculación del mosto.

BOMBA DE RECIRCULADO.	
<p>Bomba peristáltica de tipo DFAa 008. Volumen de bombeo/revolución 1.6 mL/U Presión máxima: 2 bar Capacidad de bombeo con presión máxima: 17 L/h Sistema de rodillos Manguera interior de 3.2 mL</p> 	<p>395.9</p>
TOTAL	8 123.8

Aunque se vaya a trabajar con 60 litros, en el caso del macerador o el hervidor y con 50 litro en el fermentador, hemos tenido la precaución de tener un factor de seguridad de cómo mínimo el 15 % con el fin de evitar cualquier problema que pudiese surgir durante la producción de nuestra cerveza.

5.3. ESCALADO DE LA ENERGÍA DEL PROCESO

Como ya sabemos, para el proceso es necesario recurrir a tanques con sistemas de intercambio de calor como el macerador, el hervidor o el fermentador, que son las principales operaciones del proceso. Para el cálculo de la energía utilizada se han realizado cálculos teniendo en cuenta el calor necesario para aumentar y/o disminuir la temperatura y para mantenerla en los diferentes apartados del *brewing* [110].

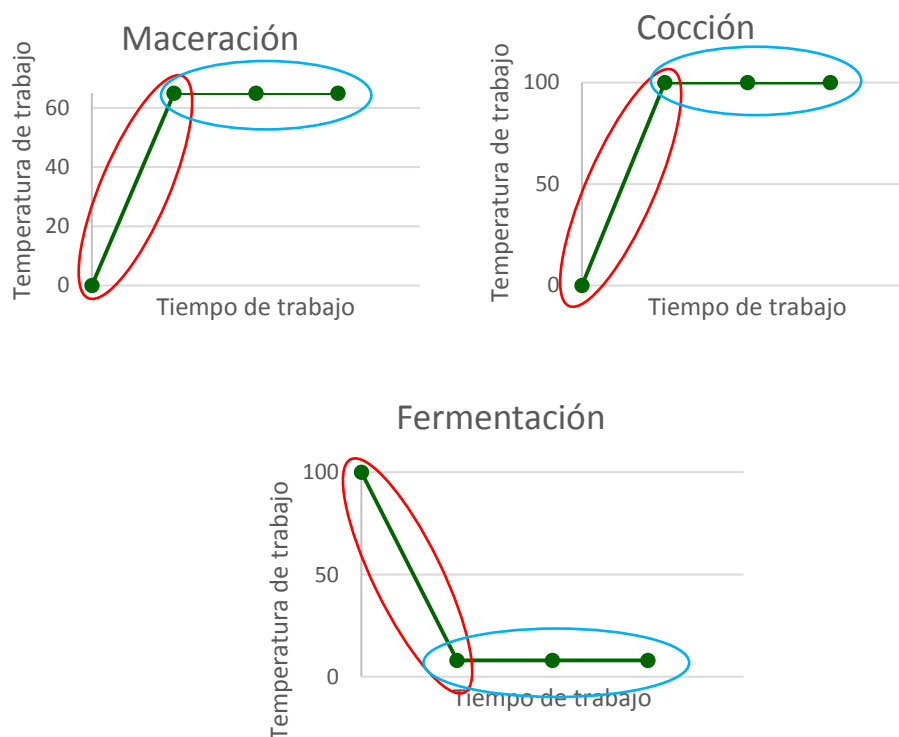


Figura XLIV: Regímenes de temperatura a calcular energéticamente. En rojo el aumento (o disminución) de temperatura y en azul el mantenimiento de la misma.

En primer lugar, calcularemos la energía necesaria para el cambio de temperatura, hasta la de trabajo. Suponemos que el calor específico no varía en el rango de temperaturas del proceso. Además, supondremos que el cambio térmico sucede instantáneamente.

Tabla XVIII: Datos y cálculos de la energía necesaria para el cambio de temperatura en la planta piloto

$W = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T - q$	MACERADOR	HERVIDOR	FERMENTADOR
\dot{m}	60 L		50 L
$c_p \left[\frac{KJ}{K \cdot Kg} \right]$	4.187 (65 °C)	4.216 (100 °C)	4.196 (8 °C)
$T_{inicial}$	18.9 °C	32.7 °C	100 °C
T_{final}	68 °C	100 °C	8 °C
W [MJ]	12.4	17.0	20.5
TOTAL ENERGÍA			49.9 MJ

A los resultados anteriores debemos añadirle el coste de prolongar el aporte energético durante el tiempo que dura el experimento. Siguiendo con la suposición anterior tomaremos el tiempo total del experimento se dedicará a mantener dicha temperatura.

Tabla XIX: Datos y cálculos de la energía necesaria para mantener el proceso de en la planta piloto.

Potencia equipo [J/s]	2000	3800	12 000
Tiempo de proceso	120 min	90 min	11520 min (8 días)
W [MJ]	14.4	20.5	8 294.4
TOTAL DE ENERGIA			8 329.3 MJ

Durante el proceso parte de la energía utilizada se perderá, aunque suponemos que esta pérdida es mínima de modo que será posible despreciarla. Una vez conocida la energía necesaria para cambiar la temperatura, así como la necesaria para mantenerla el tiempo necesario, vamos a calcular el coste que supondría trabajar en nuestra planta piloto.

Tabla XX: Cálculos de los costes de funcionamiento de la planta piloto.

TOTAL ENERGIA PLANTA PILOTO	8.4 GJ
TOTAL	2333.3 kWh
TARIFA CONSUMO	0.14 €/kWh
COSTE ENERGETICO TOTAL	326.6 €

5.4. CUADRO RESUMEN DE LOS PRECIOS DE LA PLANTA PILOTO

Una vez determinados los elementos mínimos para poder trabajar en una planta piloto que reproduzca las condiciones del laboratorio que produjeron nuestra cerveza, haremos un resumen del coste total que nos supondría su puesta en marcha.

Tabla XXI: Resumen del presupuesto para llevar a cabo una planta piloto.

FACTOR	COSTE [€]
MATERIA PRIMA	368.5
ENERGIA	326.6
EQUIPAMIENTO	8 123.8
TOTAL	8 818.9

6. ESCALADO DEL PROYECTO A PLANTA INDUSTRIAL

Una vez determinados los parámetros de una planta piloto para la producción de 50 L, repetiremos el procedimiento para pasar a mayores volúmenes, llevando el escalado hasta el nivel industrial, en el que se producirán 13 m³ de cerveza al año. De modo que, y para tener en cuenta todos los posibles costes que ello supondrá vamos a dividir el estudio económico en todos aquellos apartados a los que debe hacer frente un empresario para empezar un proyecto.

6.1. PRESUPUESTO MATERIA PRIMA

Como base para los cálculos tomaremos los datos del ensayo 5, en primer lugar, por el considerable lote que se consiguió en el laboratorio, y, en segundo lugar, porque fue uno de los que se consiguieron llevar a cabo hasta el final.

Se dividirán los 13 m³ durante un año, del que contamos 42 semanas hábiles. Para esta división se ha tenido en cuenta que la fermentación de nuestra cerveza ocupa 8 días de trabajo, durante los cuales se realizaran tareas complementarias. Por ello fijamos que un lote de producción supondrá 310 L de cerveza producida.

Tabla XXII: Materia prima utilizada para la fabricación de cerveza

	Laboratorio (0.004 m ³)	Carga (0.31 m ³)	Anual (13 m ³)
Cebada [Kg]	0.72	105.2	4400
Agua [m ³]	0.0045	0.35	15.63
Lúpulo [Kg]	0.014	1.285	53.07
Levadura [Kg]	0.0017	1.084	45.48
Irish Moss [Kg]	0.00021	0.016	0.69

Tabla XXIII: Cuadro de precio materia prima anual del proyecto.

PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIDAD		€/AÑO
Agua	m ³	37	L	0.09 €	3 330.0
Cebada	Kg	4400	Kg	11.40 €	50 100.0
Lúpulo	Kg	53.1	Kg	7.95 €	422.1
Levadura	Kg	45.5	Kg	17.76 €	808.1
Etiquetas	Ud.	45 000	5 000 u	90 €	865.1
Chapas	Ud.	45 000	5 000 u	120 €	1 110.0
Botellines 33cl	Ud.	40 000	1	0.13 €	6 455.59
Pallet Botellas (2.736 u)	Ud.	15	355.18		
TOTAL					63 090.9

Antes de proceder con la siguiente parte, vamos a dar unas cuantas características de los envases escogidos. Se han seleccionado los llamados “botellines” porque una de las representaciones más características de la cerveza es el botellín de chapa. Se ha seleccionado la botella de 33 cL común de color topacio oscuro con cierre de chapa. Las botellas necesarias para cubrir nuestra producción son 39 272, aunque se tendrá la precaución de calcular el coste de 40 000, además como la empresa contratada tiene un plazo de entrega inferior a los 28 días, y nosotros necesitamos esos botellines para la producción anual se irán pidiendo cada trimestre.

6.2. PRESUPUESTO MAQUINARIA

Una vez hemos establecido que el espacio no será el elemento limitante, vamos a analizar la equitación requerida para elaborar nuestra cerveza. En este apartado solo se realizará el estudio de los elementos más importantes utilizando datos recogidos de empresas similares a las producciones que vamos a realizar. Los equipos presupuestados y sus características han sido recogidos de estas empresas. En este apartado no se pretende realizar un escalado a nivel industrial, simplemente se pretende realizar un estudio de distribución en planta y explicar los pasos a seguir en un proceso de puesta en marcha de una empresa dedicada a la fabricación de cerveza.

Tabla XXIV: Equitación necesaria para llevar a cabo el proceso cervecero.

ELEMENTO	
Macerador	Tanque clarificador
Hervidor	Tanques de almacenamiento
Fermentador-madurador	Deposito auxiliar de agua
Sistema de limpieza	Intercambiador de calor

Las conexiones entre los diferentes equipos se llevarán a cabo mediante tuberías, que serán las responsables de transportar los líquidos de un elemento a otro de la planta durante la elaboración. Para impulsar los líquidos la planta estará provista de bombas hidráulicas.

La planta estará equipada de los instrumentos de control y regulación que sean necesarios. Al principio, se recurrirá a un maestro cervecero para poder controlar el proceso.

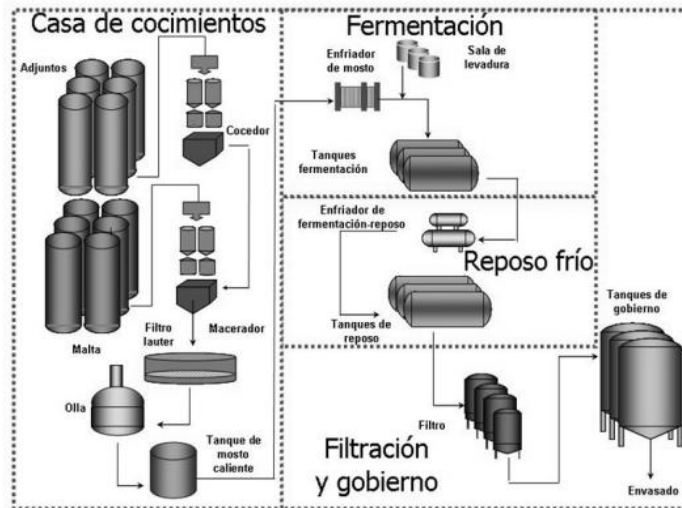


Figura XLV: Proceso cervecero compendiado.

El estudio económico se realizará siguiendo una subdivisión de la microcervecera en agrupaciones de elementos tal y como se agrupan en la figura XXIII. Puesto que la búsqueda de material se está realizando de forma verídica a través de páginas de compra-venta en el precio total del equipo se añade el coste de envío además del IVA.



Tabla XXV: Presupuestos de equipamiento [111 y 112].

ELEMENTO		PRECIO UD [€]	UD	COSTE [€]
FERMENTACIÓN	FERMENTADORES			
	Sifón para conservación. Termómetro de 0 a 50º C. Grifo inox. 316 salida de vino limpio. Grifo inox. 316 salida de turbios. Capacidad máxima: 100 L Altura total del tanque: 1.04 m Diámetro: 0.49 m 	16 543.5	4	18 574.1

TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
MOLIENDA	Válido para industria alimentaria y química. Indicador de nivel Toma inferior de 2" Capacidad 350 L Diámetro superior: 820 mm Diámetro inferior: 693 mm Altura: 975 mm Peso vacío 14 Kg			
		1 644.0	6	9 864.0
TOTAL			28 438.0	

Fijadas las cargas de 310, establecemos que se dividirán en los 4 fermentadores, siempre teniendo en cuenta un factor de seguridad por lo que, en los fermentadores de 100 L, nunca tendrán una carga máxima y contendrán un volumen nunca mayor a 80 L en cada carga.

MOLINO				
MOLIENDA	Producción hasta 29 Kg/min. Desmontable Cuenta con una parrilla de protectora sobre la boca del sistema de molienda, AMPLIA CAPACIDAD Soporta hasta 250 kg de carga en la tolva.			
		2 776.5	1	3 005.7
TOTAL			3 005.7	

ETIQUETADO Y ENVASADO	Etiquetadora semiautomática			
	<p>Motor accionado por foto-célula. Para el etiquetado de botellas cilíndricas de cualquier material con superficie lisa. Admite botellas con diámetros comprendidos entre 55 y 200 mm. Etiquetas autoadhesivas de altura máxima 170 mm. Dimensiones: 440 x 670 x h280 mm, Peso: 20Kg, Producción aprox: 600 bot/h</p> 	2 792.9	1	2 972.9
	Máquina de embotelladora			
	<p>Potencia 12KW Certificación CE ISO SGS Capacidad: 240 – 300 botellas/h Peso: 4 toneladas</p> 	13 980.0	1	14 575.2
TOTAL				17 547.9

INCAMBIADORES	INTERCAMBIADOR DE CALOR MOSTO-GLICOL.			
	<p>Placas: AISI 316 con soldadura de cobre. Conexiones: Rosca externa ISO-G 3/4" Temperatura máxima de trabajo: 225 °C Presión máxima de trabajo: 30 bar. Caudal máximo: 3.6 m³ /h.</p> 	12 766.5	2	25 533.0
	ENFRIADOR.			
	<p>Enfriador de placas. Nº de placas: 40 Temperatura de refrigeración hasta 0 °C Potencia 92 000 W</p> 	15 394.0	1	15 594.0
	TOTAL			41 127.0

45-60

CONDUCCION	BOMBA PERISTALTICA			
	<p>Caudal máximo 27 L/min Presión máxima 2 bar</p> 	3 700.0	10	37 000.0
	MANGUERAS CALIDAD ALIMENTARIA			
	<p>Manguera transparente calidad alimentaría con espiral de acero tratado</p>	12/m	50	600.0
	TOTAL			37 600.0

Los accesorios de conducción exigen un estudio más detallado, de modo que no podemos especificar la cantidad necesaria , ni cuáles de ellos serán los que requeriremos.

MALTEADO	SILO			
	<p>MOD. SGL-2300/CONO/HOPPER/CÔNE 43° – 80° Carga: 4.9 Toneladas Altura total: 5 262 mm Diámetro: 2 292 mm Modelo: SGL-2301</p> 	1 350.0	2	2 700.0
TORNILLO SIN FIN				
<p>Súper sinfín de 7 m largo. Capacidad máxima 60 toneladas/h</p> 		1 576.9	1	1 580.0
TOTAL				4 280.0

Con lo que el desembolso necesario para la maquinaria quedaría:

Tabla XXVI: Presupuestos totales de equipamiento.

RESUMEN DE PRECIOS	
FERMENTACIÓN	28 438.0
MOLINO	3 005.7
MALTEADO	4 280.0
INTERCAMBIADORES DE CALOR	41 127.0
CONDUCCIÓN	37 600.0
ETIQUETADO Y ENVASADO	17 547.9
TOTAL	131 998.4

Sera necesario recurrir a un préstamo hipotecario para hacer frente a los 132 000 € necesarios para adquirir la maquinaria, a los cuales les sumaremos además el importe de la materia prima (63 000 €).

Con lo cual necesitamos de un préstamo que nos permita afrontar los casi 200 000 € euros de desembolso inicial que necesitamos para poner en marcha nuestra empresa cervecera. A continuación, facilitamos los datos de los presupuestos elaborados por la entidad bancaria Sabadell, con las simulaciones pertinentes de la devolución del préstamo.

Destacar el hecho de que el préstamo se ha solicitado para una cantidad mayor, para poder comprar todos los elementos que restan y no han sido detallados en el presupuesto anterior entre los que contaríamos los diferentes accesorios de conducción, los sistemas de limpieza y desinfección, los equipos de control del proceso o los análisis e inyección de CO₂.

Tabla XXVII: Presupuesto 1, leasing a tipo variable

LEASING de Maq. Industria alimentaria a tipo variable en prestación de servicios	
Importe solicitado	260 000.00
Vencimiento (meses)	120
Periodicidad cuota	Mensual
Interés	3.5 %
Importe financiado	260 000.00
CUOTAS	
Entrega inicial	-
Cuota	2 545.86
Importe valor residual	2 545.86
Importe Comisión Apertura (2 %)	5 200.00
Importe Comisión Estudio	1 820.00
Gastos (aproximados) + impuestos correspondientes	558.20

Tabla XXVIII: Presupuesto 2, leasing a tipo fijo con seguro

LEASING de Maq. Industria alimentaria a tipo fijo en prestación de servicios	
Importe por Leasing	260 000.00
Importe entrega inicial	0.00
Importe del seguro (Avería maquinaria)	9 937.13
Importe de fondos aport. por I.C.O.	260 000.00
Importe de fondos aport. Por el banco	9 937.13
Vencimiento y Periodicidad de la cuota	7 años (Men)
Interés ponderado (T.A.E. 5.092 %)	4.848 %
Periodos de carencia	0
Cuota de carencia	0.00
Cuota	3 743.38
Importe del Valor residual	3 743.38
Importe comisión de apertura (0.00 %)	199.75
Importe comisión de estudio (0.00 %)	70.18
Gastos (aproximados) + impuestos correspondientes	560.90

Tabla XXIX: Presupuesto 3, leasing a tipo variable sin seguro.

LEASING de Maq. Industria alimentaria a tipo variable en prestación de servicios	
Inversión por Leasing	260 000.00
Importe entrega inicial	0.00
Importe de fondos aport. por I.C.O.	260 000.00
Importe de fondos aport. Por el banco	0.00
Vencimiento	10 años
Periodicidad cuota	Mensual
Interés ponderado (T.A.E. 5.092 %)	4.977 %
Periodos de carencia	0
Cuota de carencia	0.00
Cuota	2 725.90
Importe del Valor residual	2 725.90
Importe comisión de apertura (0.00 %)	0.00
Importe comisión de estudio (0.00 %)	0.00
Gastos (aproximados) + impuestos correspondientes	564.73

Tabla XXX: Cuadro resume de los presupuestos por maquinaria.

RESUMEN DE PRESUPUESTOS			
Seguro	PRESUPUESTO 1	PRESUPUESTO 2	PRESUPUESTO 3
	No	No	Si
	-	-	9 937.13
Vencimiento [años]	10	10	7
Importe valor residual	2 545.86	2 725.90	3 743.38
Importe comisión apertura	5 200.00	0.00	199.75
Importe comisión Estudio	1 820.00	0.00	70.18
Gastos y/o impuestos	558.20	564.73	560.90
Total carga financiera	54 557.07	69 833.90	48 250.17
Total cuota neta	311 971.32	327 108.00	314 443.92
TOTAL	64 681.13	73 124.53	52 824.38

Los tres presupuestos detallados, están en el apartado de anexos al final del documento.

Aunque el importe solicitado para todos los presupuestos es el mismo, el coste final que nos supondrá al final de la financiación varía. Si solo nos basásemos en el total el mejor presupuesto sería el 3, puesto que es el más barato, además que es el único que incorpora un seguro que se haría cargo ante cualquier problema de maquinaria. Pero hemos de tener en cuenta que es un presupuesto a interés variable, lo cual, aunque se ha realizado una simulación, los intereses pueden variar en estos años, y observando la tendencia del mercado actual, al alza, quizá el escoger este presupuesto porque en su día era el más barato puede acabar saliendo caro.

Además, e el seguro de maquinaria podemos contratarlo en cualquier entidad, que con una minuciosa búsqueda quizá consigamos mayores coberturas a mejor precio. Por otro lado, el vencimiento del presupuesto 3 es menor que los otros, asimismo el valor residual de la maquinaria es más caro en el presupuesto 3, de modo que nuestra elección será afrontar el presupuesto 1.

6.3. PRESUPUESTO INMOBILIARIO

El tamaño requerido para nuestro proceso es algo más de 280 m², por lo que deberemos escoger un local de mayores dimensiones; en primer lugar, si tenemos previsto ampliar la cantidad de producción y adquirir más maquinaria, si fuese posible, y en segundo porque además de la sala de procesado también se necesitara, de baños, oficinas, sala de calderas, sala de descanso; salas que por otro lado irán aumentando el número de metros necesarios para el proyecto. Se ha establecido que el espacio mínimo requerido es de 350 m², y se ha optado por escoger una de fábrica de mayor tamaño debido a la gran oferta de emplazamientos disponibles encontrados en la localidad de Alcoy y precio adecuado. Alguna de las ofertas que cumplan nuestros requisitos son:

Tabla XXXI: Mejores ofertas inmobiliarias Alcoy [113 y 114].

FABRICA	DIRECCIÓN	TAMAÑO [m ²]	COSTE [€]
1	La beniata	423	145 900.0
2	Polígono Cotes Baixes	380	104 500.0
3	La beniata	500	82 000.0
4	Polígono Cotes Altes	900	90 000.0

De todas las posibilidades estudiadas, se ha escogido la opción 4, porque, aunque la opción 2 eran la que más se ajustaba a nuestros requerimientos o que la 3 era barata. La opción 4 parecía la más adecuada, además, la localización de esta fábrica es mucho mejor que las otras, puesto que se encuentra más cerca de la autovía.

Para hacer frente a este importe se ha solicitado un préstamo hipotecario en el banco Sabadell, a continuación, facilitamos los detalles principales del crédito, para más información consultar el apartado de anexos al final del proyecto.

Tabla XXXII: Condiciones préstamo hipotecario

Tipo	Variable
Importe solicitado	90 000.0
Importe máximo	60 000.0
Valor estimado	120 000.0
Vencimiento (20 años)	12 / 07 / 2036
Interés nominal periodo inicial (TAE 2.49)	5.0 %
Cuota mensual periodo inicial	593.96
Periodicidad de la cuota	Mensual
Comisión apertura (Aplicado importe mínimo)	750.0
Comisión de estudio (0.50 %)	450.0

6.4. PRESUPUESTO GLOBAL

Recapitulando todos los costes estimados y calculados hasta el momento, obtenemos:

Tabla XXXIII: Costes totales.

SUBPARTADOS	COSTE [€]
MAQUINARÍA	131 998.4
MATERIA PRIMA	63 090.9
FABRICA	90 000.00
TOTAL	285 089.3

6.5. HONORARIOS

Como último punto, para nuestro presupuesto será necesario contar con los sueldos de los operarios y trabajadores de planta:

Tabla XXXIV: Honorarios de los trabajadores.

Profesional	N	Salario mínimo		Seguridad social		Total
		€/mes	€/año	€/ día	€/año	€
Gerente	1	2.200,0	33000	25.2	9 205.3	42 205.3
Técnico						
Trabajador		1272.5	19086.7			19 086.7
Control de calidad		2.200,0	33000			42 205.3
Jefe de almacén		1272.5	19086.7			19 086.7
TOTAL						122 583.4

Se realizarán un total de 15 pagas al año (12 mensuales y 3 extras).

6.7. DISTRIBUCION EN PLANTA

Vamos a proponer lo que sería la distribución en planta de la forma más optimizada, tanto para desarrollar el trabajo en las mejores condiciones como para minimizar la afección de los trabajadores, ya sea por olores desagradables, ruidos o cualquier elemento distorsionador que pueda aparecer en la producción de cerveza.

Esta distribución hace referencia al recorrido que realiza el producto desde su entrada en planta hasta su salida.

A continuación, se describirán cada una de las salas que comprenden el local:

- A. Sala de descanso.
- B. Oficinas.
- C. Sala de reuniones.
- D. Baños.
- E. Sala de procesado.
- F. Sala de tratamiento del agua.
- G. Descarga y Almacenamiento de las materias primas.

Conocida la distribución en planta de nuestra empresa nos faltaría especificar el tamaño de la misma, como hemos dicho anteriormente este factor se ve fuertemente condicionado tanto por la producción como por la maquinaria empleada.

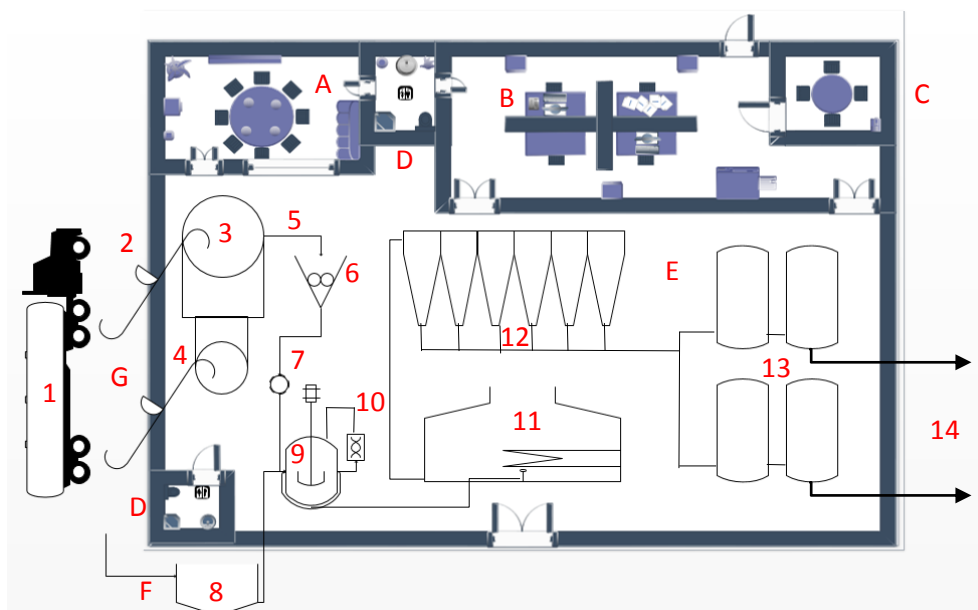


Figura XLVI: Plano de la fábrica, distribución de maquinaria oficinas y baños.

La elaboración de cerveza comienza con la recepción de la cebada (1), la cual pasa a los tornillos sin fin (2) donde es transportada al silo de germinación principal (3) y en caso de problemas por alargamiento del proceso de germinación al secundario (4).

Una vez ya germinada la cebada se deja secar y se tuesta haciéndola pasar por una tubería calefactora (5) donde a la vez que eliminamos la humedad excedente transportamos la cebada al molino (6), a partir del cual, la cebada molida o malta será tamizada (7) como medida de control y será llevada al macerador (9). En el macerador se mezclará la malta con agua procedente de un tanque (8) donde se la tratará para que tenga las condiciones óptimas (de pH y temperatura) para la maceración.

Tras el proceso enzimático, el mosto será recirculado para maximizar la cantidad de azúcares fermentables extraídos del grano (10) tras lo cual será llevado al 'whirpool' (11), también conocido como hervidor, donde se aromatizará con lúpulo y se cocerá, para posteriormente llevarlo a los tanques de fermentación (12). En los tanques se obtendrá cerveza verde, la cual no posee las propiedades idóneas para nuestros consumidores con lo que será trasvasada a unos tanques de maduración (13) donde madurará y tomará el sabor y aroma característico de nuestra nueva cerveza, que trascurrido el tiempo necesario (2 meses) será apta para ser comercializada (14)

La empresa una vez pueda funcionar, necesitara tener liquidez ante cualquier imprevisto que pueda surgir. Por esta razón se ha solicitado un tercer préstamo bancario, para contar con liquidez durante los primeros momentos de funcionamiento de la empresa. De nuevo, el banco Sabadell ha facilitado los valores del préstamo, que, para más detalle se encuentran en el apartado de anexos.

Tabla XXXV: Datos préstamo para la liquidez de la empresa durante los primeros años de funcionamiento.

Límite de crédito	50 000.00
Limite no dispuesto	0.00 %
Vencimiento	12 / 07 / 2017
Interés	5.000 %
TAE	7.951 %
IMPORTANTE el cálculo del TAE no incluye los gastos asociados a la posible existencia de garantías hipotecarias.	
Comisión de apertura (2.00 %)	1 000.00
Comisión de estudio (aplicado mínimo)	250.00
Comisión de revisión	2.00 %
Comisión no disposición	0.25 %
Rebajes en el limite	Sin rebajes en el limite
Liquidación de interés	Según detalle adjunto
GASTOS APROXIMADOS	
Corretaje	150.00
TOTAL	150.00

7. NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

La cerveza es un producto alimentario y, como tal, sujeto a múltiples controles de tipo legislativo. En este apartado se pretende mostrar, con la mayor brevedad posible, la legislación que hace referencia a cualquier aspecto de la producción venta o empaquetado, es decir a todo lo relacionado con la cerveza.

7.1. LA CERVEZA COMO PRODUCTO

La cerveza se encuentra regulada mediante el Real Decreto 53/1995, del 20 de enero del Ministerio, en el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para la elaboración, circulación y/o comercio de la cerveza y de la malta líquida (BOE nº 34, de 9 de febrero de 1995). Esta norma pretende definir qué se entiende por cerveza a efectos legales y fijar sus normas para la elaboración, circulación, comercio, y, en general, su ordenación jurídica. Obliga a todas aquellas personas que dediquen su actividad profesional a la obtención de la cerveza, así como a los importadores y comerciantes de la misma.

7.2. ETIQUETADO DE LA CERVEZA

En el Real Decreto 1334/1999, de 31 de julio, por el que se aprueba la Norma general de etiquetado, presentación y publicidad de los productos alimenticios (BOE nº 202, de 24 de agosto de 1999), establece las condiciones generales de etiquetado para todos los productos alimenticios destinados a ser entregados al consumidor, así como los aspectos relativos a su presentación.

También se aplica a los productos alimenticios destinados a ser entregados a los establecimientos de restauración. La cerveza, como producto alimenticio, está sujeta a las disposiciones de este Decreto, con las particularidades que se establecen en su propia Reglamentación Técnico-Sanitaria.

7.3. IMPUESTOS ESPECIALES DE LA CERVEZA

La cerveza está sujeta a la ley 38/1992, del 28 de diciembre, de Impuestos Especiales (BOE nº 312, de 29 de diciembre de 1992), responde a la armonización de estos impuestos a escala comunitaria, configurándose como impuestos indirectos que recaen sobre el consumo de ciertos productos, gravando su fabricación y/o su importación. El Real Decreto 1165/1995, de 7 de julio, establece las condiciones detalladas de aplicación de la Ley en forma de Reglamento (BOE nº 179, de 28 de julio de 1995), habiendo sido modificado por Real Decreto 112/1998, de 30 de enero (BOE nº 27, de 31 de enero de 1998), por Real Decreto 1965/1999, de 23 de diciembre (BOE nº 312, de 30 de diciembre de 1999) y por Real Decreto 1739/2003, de 19 de diciembre (BOE nº 11, de 13 de enero de 2004). Los tipos impositivos se actualizan mediante la Ley General de Presupuestos del Estado.

7.4. ENVASES CERVECEROS

Los envases de cerveza se encuentran sujetos también a normativa específica por el Real Decreto 1801/2008, de 3 de noviembre (BOE nº 266/2008). Características de las botellas como recipientes: Real Decreto 703/1988, de 1 de julio (BOE nº 172/1988). Una vez convertidas en residuo: Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de envases (BOE nº 99/1997) y su reglamento –Real Decreto 782/1998, de 30 de abril (BOE nº 104/1998).

7.5. LA CERVEZA Y EL MEDIO AMBIENTE

Toda industria cervecera acreditada (cerveceros/as caseros/as no) se encuentra sujeta al cumplimiento de la Ley 16/2002, del 1 de julio, de prevención y control integral de la contaminación (BOE nº 157, de 2 de julio de 2002), que establece el procedimiento para la concesión de las autorizaciones ambientales para las instalaciones industriales pertinentes, donde deberán constar los límites máximos de emisión autorizados en función de las mejores técnicas disponibles en cada caso. Como referencia respecto a las mejores técnicas disponibles por sectores, se han elaborado en el IPTS (Instituto de Prospectivas Tecnológicas) de Sevilla unos documentos llamados BREF (*Best Available Technique Reference*).

7.6. SEGURIDAD E HIGIENE

Por último, en el Reglamento de la UE nº 178/2002, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2002, establece los principios y los requisitos generales de la legislación alimentaria, crea la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria y fija procedimientos relativos a la seguridad alimentaria (Diario Oficial de las Comunidades Europeas L 31, de 1 de febrero de 2002).

Dicho Reglamento se basa sobre dos pilares de extraordinaria importancia: el análisis de riesgos y la trazabilidad. Es de aplicación, además, desde el 1 de enero de 2006, el Reglamento UE nº852/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios [115 y 116].

8. CONCLUSIONES

La cerveza es uno de los productos más populares del planeta. Su producción se lleva a cabo tanto de manera artesanal como industrial. Hay quienes dejan a la cerveza en manos de los más modernos controladores capaces de analizar desde el pH hasta el aroma del producto y en cambio hay quienes recurren a los maestros cerveceros que serán los encargados de dictaminar cuando cada una de las etapas del proceso debe terminar.

Para poder disfrutar de una cerveza fría, templada o caliente son necesarias muchas horas de producción, de hecho, son los países que más producen, aquellos que ostentan el título de mayores cerveceros del mundo.

Existen millones de cervezas, miles de fábricas y cientos de artesanos y aunque las bases del proceso sean comunes a todas ellas existen pequeños matices que son los que caracterizan a una cerveza, de modo que intentaremos dar una imagen general del proceso.

Desde la investigación microbiológica, hasta la purificación del producto, pasando por el tratamiento de las aguas, podemos observar un proceso técnico multidisciplinar completo desde el punto de vista de un ingeniero industrial. De hecho, la elaboración de cerveza es conocida como uno de los primeros bioprocesos realizados por el hombre y ha sido perfeccionado desde la revolución industrial hasta hoy.

En este proyecto se pretendía diseñar un proceso para la elaboración de cerveza a partir de los datos tomados en el laboratorio, pretendiendo pasar del pequeño volumen de cerveza producido en el laboratorio a uno mayor de cincuenta litros.

Para lograrlo era necesario para preparar y montar un sistema que permitiera realizar los diferentes procesos del brewing en el laboratorio, por lo que se montó un sistema que no solo produjera cerveza, sino que también permitiese, la visualización de los diferentes procesos, así como un muestreo, para tomar aquellos datos que nos fueron necesarios para dictaminar si podríamos llevar nuestro proyecto a mayores escalas.

Con los datos recogidos y ajustados al modelo que escogimos, demostrábamos que nuestro sistema tanto de montaje como de procedimiento nos servía para producir cerveza, con lo que se buscó aumentar la producción y mediante el escalado buscamos calcular todos los aspectos pertinentes a aumentar la generación de nuestra cerveza.

El proceso cervecero comienza con la recepción del grano, el cual tras ser inspeccionado pasa a las cámaras de germinación, donde se sumergirá en agua y se dejara al aire por periodos alternos de entre ocho y diez horas; con el objetivo de que los granos comiencen a brotar proceso que tiene como reacción secundaria la formación de enzimas que serán necesarias en la siguiente parte del proceso cervecero. Una vez el número de granos germinados es el adecuado se secarán y tostarán los granos para prepararlos para el proceso de la maceración. Para ello se mezclarán estos granos con agua tratada en una relación de 1:3.

Se llevará a una cuba y se calentara hasta los 65 °C durante casi dos horas, tiempo en el cual las enzimas, antes mencionadas, hidrolizaran los polisacáridos de los granos dejándolos en su estado elemental, más conocidos como monosacáridos o azúcares fermentables.

Se obtiene así una solución dulce poco concentrada, para ello se hierve con lo que se elimina en torno a un 10 % de agua; a la vez que se le añadirá lúpulo, el cual es el responsable del sabor amargo característico de la cerveza. Finalmente, este nuevo mosto menos dulce se introducirá en el reactor de fermentación donde la levadura se encargará de convertir los azúcares en alcohol como principal producto y en dióxido de carbono como secundario.

Esta disolución recibe el nombre de cerveza verde, y aunque ya puede ser consumida suele soportar una segunda fermentación donde afinara más su sabor y reducirá cualquier compuesto desagradable que se pueda haber formado como el ácido acético. Tras esta operación, se deja madurar entre dos y doce semanas y finalmente se filtra; siendo el resultado la cerveza que esperábamos producir.

A todas estas operaciones hemos de intercalarles los diferentes procesos de control de calidad, entre los que contamos con medición de pH, de densidad, de refractometría, la prueba del lugol, inspección al microscopio e incluso la propia prueba organoléptica del producto.

Y aunque existen cientos de empresas que realicen este proceso con sus propios trucos y sus propias recetas siempre surgen nuevas y pequeñas empresas que buscan hacerse un hueco en el mercado y en casi todas ellas hay un patrón común que no difiere de nuestro proyecto.

Primero empezaron con unos pocos milímetros cúbicos a los cuales se les realizó todo tipo de pruebas, una vez se determinó la efectividad de ese pequeño volumen se estudió su aumento a una mayor cantidad a la cual se le repitieron las pautas anteriores y solo cuando fue viable ya se trasladó la producción al ámbito industrial, al ámbito de los metros cúbicos de producción. En otras palabras, que la mayoría de empresas empezaron con algo parecido a este trabajo de fin de grado, con un proyecto de escalado a nivel de laboratorio, a nivel de planta piloto y a nivel de planta industrial.

En numerosas ocasiones el brewing o elaboración de cerveza es conocido como todo un arte, considerando a los maestros cerveceros como verdaderos genios. Pero no ha de olvidarse que se trata de procesos, físicos y químicos por medio de los cuales se genera esta bebida fermentada. Cada empresa siempre intenta dar ese punto característico a su cerveza por lo que nunca dejará de probar nuevas recetas, se trata de un sector en expansión, en perpetuo cambio lo cual supone un nuevo horizonte para el ingeniero de procesos, así como para los amantes de la cerveza.

9. DEFINICION DE CONCEPTOS

c_p	Calor específico (del agua)	T	Temperatura de fermentación
F	Cantidad de elaboraciones al mes por fermentador	T_{final}	Temperatura final
K_I	Constante de inhibición	$T_{inicial}$	Temperatura inicial
K_d	Constante de muerte celular	S_{in}	Cantidad de sustrato a la entrada
K_S	Constante de Michaelis – Menten para el sustrato	S	Cantidad de sustrato a la salida
m	Coeficiente para la biomasa	V	Volumen del reactor
\dot{m}	Cantidad de masa a tratar térmicamente	W	Potencia
n	Coeficiente para el producto	X	Cantidad de biomasa a la salida
n_F	Cantidad de fermentadores	X_{in}	Cantidad de biomasa a la entrada
P	Cantidad de producto a la salida	X_{max}	Cantidad máxima de levadura
P_{max}	Cantidad de producto máxima generada.	Y_X	Rendimiento de la biomasa creciendo.
r	Numero de cargas al año.	Y_P	Rendimiento de la biomasa formando producto
r_X	Velocidad de reacción (crecimiento) de la biomasa	ΔT	Diferencia de temperaturas
r_C	Velocidad de reacción del producto secundario (formación)	ρ_w	Densidad del agua
r_S	Velocidad de reacción del sustrato (desaparición)	μ_{max}	Velocidad de crecimiento máxima de la levadura
r_P	Velocidad de reacción del producto principal (formación)		

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Atlas mundial de la cerveza. Tim Webb y Stephen Beaumont. Página 6. Prologo.
2. El libro de la cerveza. Michael Jackson. Página 5. Introducción
3. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 7 – 8. Introducción
4. <http://www.pulzo.com/entretenimiento/25-frases-inteligentes-sobre-la-cerveza-pronunciadas-por-bebedores-famosos/231256>
5. <http://www.frasesypensamientos.com.ar/frases-de-cerveza.html>
6. Atlas mundial de la cerveza. Tim Webb y Stephen Beaumont. Página 15. Los orígenes de la cerveza.
7. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 1 – 2. Introducción. Una mirada a la historia.
8. <http://es.gizmodo.com/las-cervezas-mas-populares-en-cada-pais-en-un-solo-map-1691236806>
9. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Página 31 – 76. Los estilos de cerveza.
10. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cervecera; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 10. Realización de un conocimiento.
11. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 91 – 100. Recetas de cervezas.
12. Atlas mundial de la cerveza. Tim Webb y Stephen Beaumont. Página 11. ¿Qué es la cerveza?
13. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 1 – 5. Capítulo 1. Definición de cerveza. Orígenes de la cervecería.
14. Atlas mundial de la cerveza. Tim Webb y Stephen Beaumont. Página 8. Introduction.
15. http://www.cerveceros.org/cont_mlegal.asp
16. es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_cerveza
17. www.cervebel.es/cerveza_descubrimiento.htm
18. <http://www.eufic.org/article/es/artid/cerveza/>
19. <https://www.sabrosia.com/2012/08/los-origenes-historicos-de-la-cerveza/>
20. <http://www.barmaninred.com/2011/09/historia-de-la-cerveza-origen-tipos.html>
21. http://www.bedri.es/Comer_y_beber/Cerveza/Historia_de_la_cerveza.htm
22. <http://www.revistamash.com/detalle.php?id=335>
23. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 74 – 75. Proceso de elaboración. Malteado.
24. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 1 – 4. Capítulo 1. Visión general de los procesos del malteado y la elaboración de cerveza. Malteado.
25. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 22. Capítulo 2. El malteado. Proceso de malteado.
26. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 90 – 91. Proceso de elaboración. Malteado.
27. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 22 – 23. Capítulo 2. Malteado. Proceso de malteado.
28. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 27 – 29. La malta. Germinación.
29. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cervecera; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 60 – 91. Proceso de malteo.
30. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 27. Capítulo 2. El malteado. Secado – Tostado.
31. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 27 – 28. Capítulo 2. Malteado. Secado y tostado
32. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 47 – 48. Elaboración de la cerveza. Triturado.
33. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 29 – 43. Capítulo 2. El malteado. Molienda y maceración.
34. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Página 209 – 212. Equipo, instrumentos... Maceración.
35. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 49 – 68. Elaboración de la cerveza. Maceración.
36. <http://enzyme.expasy.org/>
37. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 77 – 87. Proceso de elaboración. Macerado.
38. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. El proceso de elaboración. Maceración.
39. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cervecera; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 97 – 109. Procesos enzimáticos.
40. Apuntes de 3º de G.I.Q. Tecnología de bioprocesos. Rafael Vicente.
41. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 122 – 133. Equipo.
42. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 88 – 89. Proceso de elaboración. Aspersión del grano (sparging).
43. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Página 212. Equipo, instrumentos... Sparging (aspersión o rociado).
44. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cervecera; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 131 – 144. Filtración del mosto
45. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Página 213. Equipo, instrumentos... Ebullición.
46. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 89. Proceso de elaboración. Cocción del mosto.
47. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 85 – 98. Capítulo 4. Ebullición y enfriamiento del mosto.
48. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Equipo, instrumentos... Enfriamiento.
49. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 69. Elaboración de la cerveza. Enfriamiento del mosto.
50. La cerveza. Un manual para cervesafilios. Steve Huxley. Página 214 – 219. Equipo, instrumentos... Fermentación.
51. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 93 – 97. Proceso de elaboración. Fermentación.
52. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 217 – 222. Capítulo 7. Microbiología en cerveza. Fermentaciones espontaneas.
53. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 133 – 156. Fermentación, fundamentos del proceso.
54. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 70 – 79. Elaboración de la cerveza. Fermentación

55. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 80. Elaboración de la cerveza. Clarificación – filtración.
56. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 11. Capítulo 1. Visión general de los procesos del malteado y la elaboración de cerveza. Maduración o guarda.
57. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 141 – 158. Capítulo 6. Cerveza: Postfermentación. Acondicionamiento de la cerveza en barriles.
58. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 80. Elaboración de la cerveza. Clarificación – filtración.
59. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cerveceros; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 243 – 248. Maduración fría
60. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 9. Capítulo 1. Visión general de los procesos del malteado y la elaboración de cerveza. Clarificación del mosto.
61. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 43 – 78. Capítulo 3. Flavores determinantes de la calidad de la cerveza
62. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cerveceros; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Maduración fría.
63. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 80. Elaboración de la cerveza. Clarificación – filtración.
64. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cerveceros; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 243 – 248. Maduración fría.
65. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 15 – 42. Capítulo 2. Calidad de la cerveza e importancia de los indicadores visuales.
66. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 101 – 106. Calidad de la cerveza
67. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cerveceros; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 357 – 362. Control de calidad para pequeñas cervecerías.
68. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 129 – 145. Capítulo 6. Aseguramiento de la seguridad de la cerveza.
69. Cerveza. Calidad, higiene y características nutricionales. P.S. Hughes y E.D. Baxter. Página 138. Tabla 6.1 Requerimientos de calidad y seguridad del agua empleada en la fabricación de cerveza.
70. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 23 – 26. Capítulo 2. El malteado. Estructura bioquímica de la cebada.
71. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 47 – 50. Capítulo 2. El malteado. Otros cereales usados en cervecería.
72. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 39 – 44. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. Sucedáneos y aditivos.
73. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 99 – 124. La materia prima. La malta.
74. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 9 – 22. La cebada. Materia prima esencial.
75. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 21 – 27. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. La malta.
76. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 23. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. El proceso del malteado.
77. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 23. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. El proceso del malteado.
78. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 44. Ingredientes. Cereales adjuntos.
79. Elaboración de cerveza. Microbiología, bioquímica y tecnología. Ian S. Hornsey. Página 57 – 84. Capítulo 3. Lúpulos.
80. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. El lúpulo.
81. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 69. Elaboración de la cerveza. Separación del lúpulo.
82. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 87 – 108. El lúpulo y la ebullición del mosto.
83. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 56 – 65. Ingredientes. Lúpulo.
84. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 126 – 148. La materia prima. Los lúpulos
85. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 150 – 185. La materia prima. La levadura
86. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 65 – 71. Ingredientes. Levadura.
87. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 109 – 132. Levaduras y bacterias.
88. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 31 – 33. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. La levadura.
89. Manual Cerveceros II. Ing. Martin Boan (Máster en tecnología Cerveceros; Sommelier de Cervezas); Ing. Diego Collini (Brewmaster, World Brewing Academy) e Ing. Carolina Pérez (Especialista en análisis sensorial). Página 40 – 59. Composición del agua
90. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 186 – 201. La materia prima. El agua.
91. Biotecnología de la cerveza y la malta. J.S. Hough. Página 49. El agua. Sus papeles en la elaboración de cerveza.
92. Elaboración casera de cerveza. Wolfgang Vogel. Página 34 – 38. Ingredientes necesarios para elaborar cerveza. El agua para fabricar cerveza.
93. La cerveza artesanal. Como hacer cerveza en casa. Albert Tintó García-Moreno; Pablo Vijande Majem; et al. Página 48 – 55. Ingredientes. Agua.
94. <http://www.cervezadeargentina.com.ar/articulos/clarifcandocarrageno-irishmoss.html>
95. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 80 – 84. El proceso general. Los ingredientes. El equipo y el proceso.
96. La cerveza. Un manual para cervesiafilios. Steve Huxley. Página 85 – 88. Limpieza y desinfección.
97. <http://bioquimicamarzo-julio.blogspot.com.es/2014/06/prueba-del-yodo.html>
98. Modelo Semifísico de Base Fenomenológica del Proceso Continuo de Fermentación Alcohólica. Fabián A. Ortega, Omar A. Pérez y Emiro A. López. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Procesos y Energía. Facultad de Minas. Grupo de investigación en Procesos Dinámicos-KALMAN. Carrera 80, Calle 65. Barrio Robledo. Medellín - Antioquia. Colombia. Universidad de Córdoba. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería de Alimentos. Grupo de investigación GIPPAL. Carrera 6 No. 76-103. Montería - Córdoba, Colombia.
99. Bioreactor design for chemical engineers. Fermentation processes are based on chemical engineering principles. Understand these concepts to achieve optimal bioreactor design. Gregory T. Benz. Benz Technology international Inc.
100. A kinetic model for beer production under industrial operational conditions. B. de Andrés-Toro, J.M. Girón-Sierra, J.A. López-Orozco, C. Fernández-Conde, J.M. Peinado, F. García-Ochoa.

101. THE USE OF LABORATORY-SCALE FERMENTATIONS AS A TOOL FOR MODELLING BEER FERMENTATIONS. N. HEPWORTH, A. K. BROWN, J. R. M. HAMMOND, J. W. R. BOYD and J. VARLEY. Department of Chemical Engineering and Chemical Technology, Imperial College London, London, UK. Brewing Research International, Nut. eld, Surrey, UK
102. Modelación matemática de la producción de glucosa oxidasa. Un modelo diferencial de un cultivo microbiano del tipo batch. Baldomero Valiño, Dpto. de Ecuaciones Diferenciales de la Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana Aymée Marrero Severo, Dpto. Matemática Aplicada de la Facultad de Matemática y Computación Universidad de La Habana; Juan Alfredo Gómez Fernández, Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
103. Apuntes de 3º de G.I.Q. Seminario Matlab. Salvador Cardona.
104. Simulación del proceso de fermentación de cerveza artesanal. Fermentation Process Simulation of Home brewing Beer. Garduño-García A. Et al.
105. Escalamiento de Procesos Químicos y Bioquímicos basado en un Modelo Fenomenológico. Ángela A. Ruiz y Hernán Álvarez. Escuela de Procesos y Energía, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia-Medellín. Grupo de Investigación en Bioprocesos y Flujos Reactivos; Grupo de Investigación en Procesos Dinámicos-KALMAN, Cra. 80 x Cl. 65, Barrio Robledo. Medellín –Colombia
106. Modelo Semifísico de Base Fenomenológica del Proceso Continuo de Fermentación Alcohólica. Fabián A. Ortega, Omar A. Pérez y Emiro A. López. Universidad Nacional de Colombia. Escuela de Procesos y Energía. Facultad de Minas. Grupo de investigación en Procesos Dinámicos-KALMAN. Carrera 80, Calle 65. Barrió Robledo. Medellín - Antioquia. Colombia.
107. Apuntes de 3º de G.I.Q. Control e Instrumentación de procesos químicos. Salvador Cardona.
108. Apuntes de 3º de G.I.Q. Instalaciones térmicas y climatización. Jorge Peidro.
109. Apuntes de 2º de G.I.Q. Bases de la Ingeniería Química. Antonio Abad.
110. <http://www.icespedes.com/catalog/es/>
111. <http://www.giconmes.es/generadores-vapor/>
112. <https://www.milanuncios.com/venta-de-naves-industriales-en-alcoy%7Calcoi-alicante/>
113. <http://www.locanto.es/geo/645332/Naves-industriales-en-venta/35105/Alcoi/>
114. Apuntes de 4º de G.I.Q. Proyectos de la Ingeniería Química. Juan Enrique Gadea y José I. Sirvent.
115. Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal para consumo directo. Micro-cervecería. Jaime Calleja Colorado. Marzo 2013. Proyectos de fin de carrera de ingeniería química. Universidad de Cádiz. A.7.-Normativa
116. http://www.cerveceros.org/cont_mlegal.asp

ANEXOS

Anexo 1. Embalaje de botellas.

Anexo 2. Introducción.

Anexo 3. Presupuesto hipotecario.

Anexo 4. Introducción y presupuesto maquinaria 1.

Anexo 5. Presupuesto maquinaria 2

Anexo 6. Presupuesto maquinaria 3.

Anexo 7. Presupuesto liquidez.

Anexo 8. Datos préstamo.